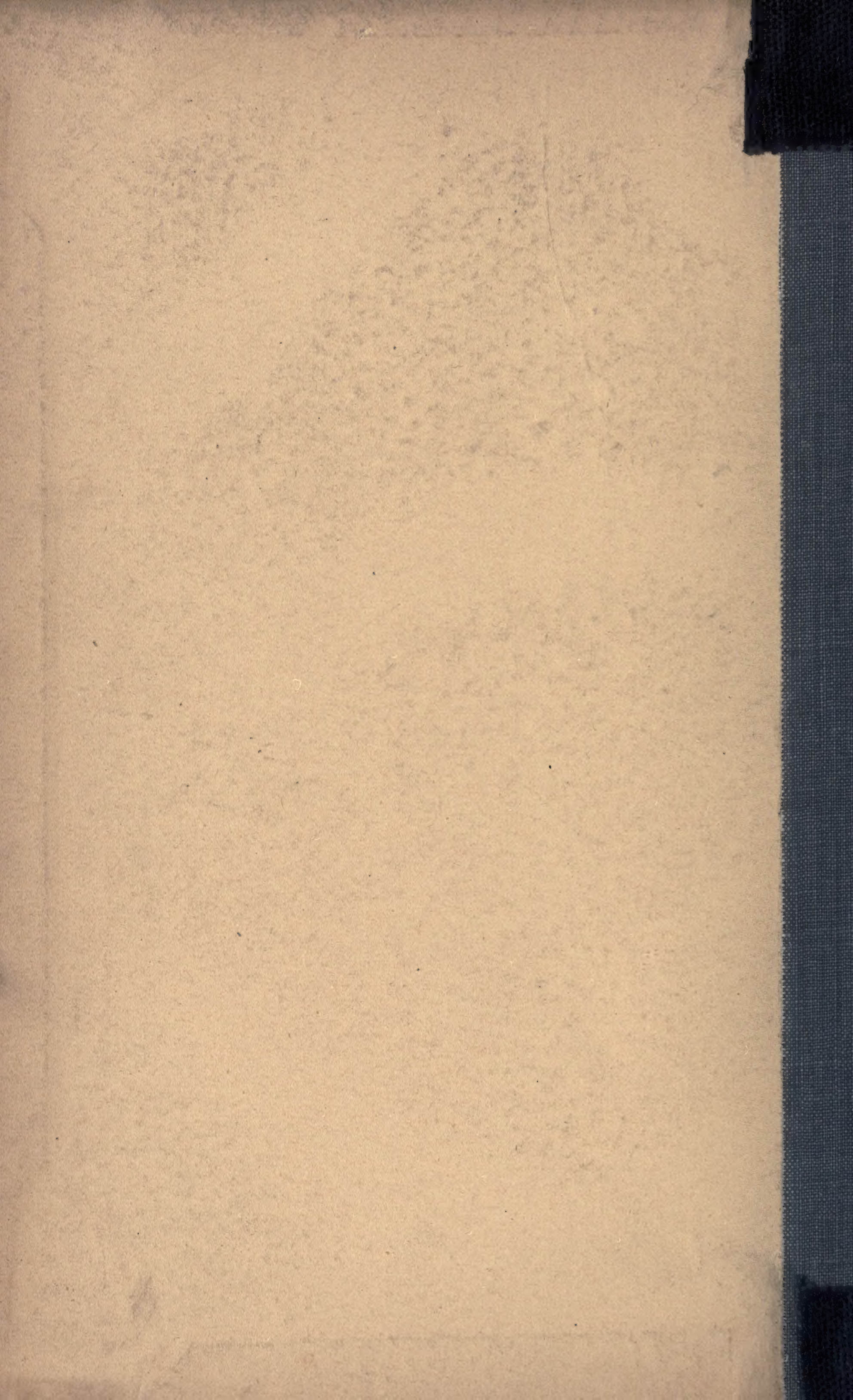
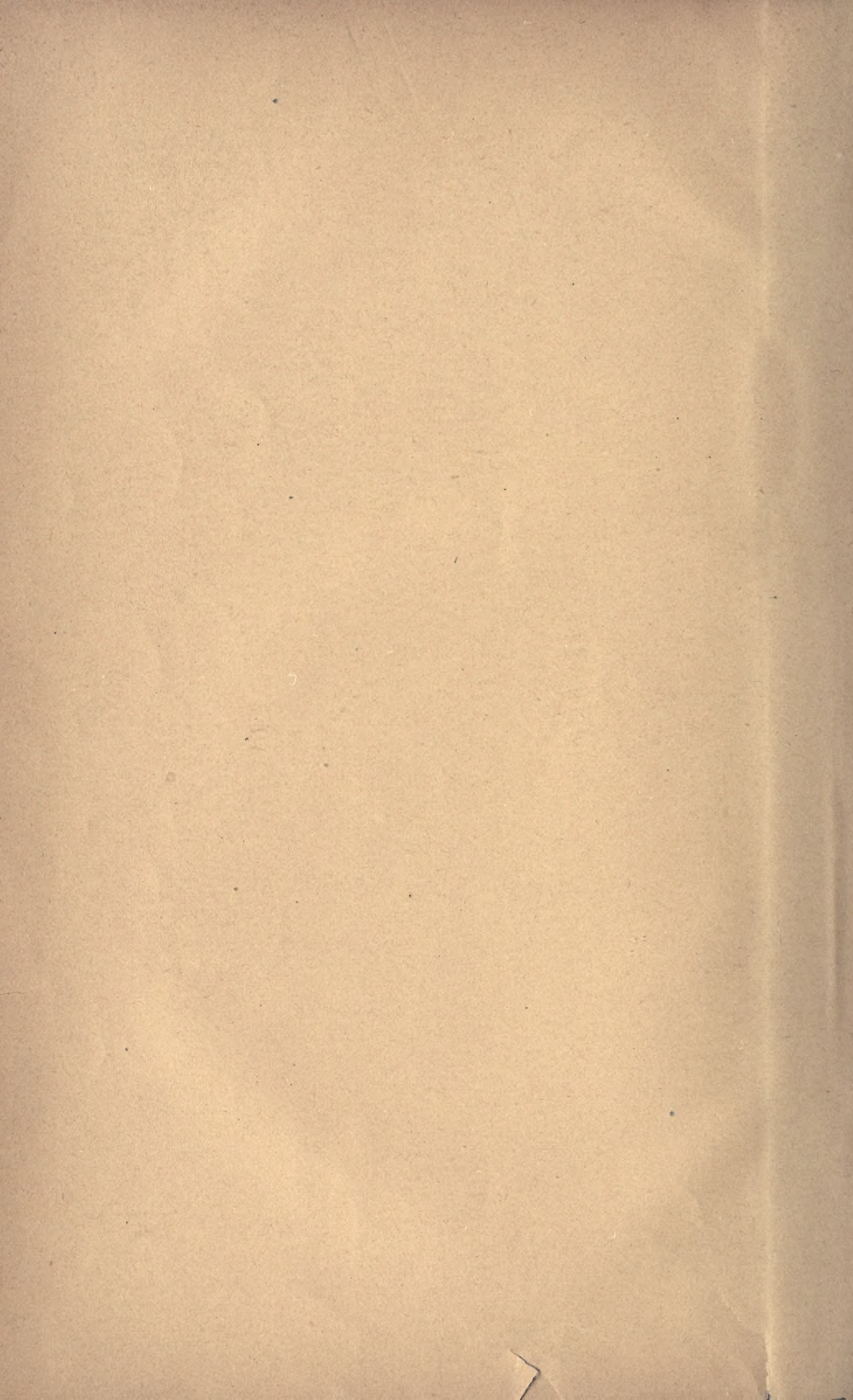

3 1761 07550569 3
UNIVERSITY
OF
TORONTO
LIBRARY







Histologische Beiträge

von

Eduard Strasburger,
o. ö. Professor an der Universität Bonn.

Heft III.

Ueber den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen.

Mit 5 lithographischen Tafeln und 17 Abbildungen im Text.

Jena,
Verlag von Gustav Fischer.
1891.

Ueber den Bau und die Verrichtungen der Leitungsbahnen in den Pflanzen.

Von

Eduard Strasburger,
o. ö. Professor der Botanik an der Universität Bonn.

Mit 5 lithographischen Tafeln und 17 Abbildungen im Text.

Jena,
Verlag von Gustav Fischer.
1891.

Vorwort.

Das vorliegende Buch, dessen Inhalt vorwiegend auf anatomischem und physiologischem Gebiete sich bewegt, wurde den „Histologischen Beiträgen“ angeschlossen, um die Reihe der Veröffentlichungen nicht zu unterbrechen, die wir unter diesem Titel begonnen haben. Thatsächlich geht aber die Aufgabe dieses Buches weit über histologische Probleme hinaus, wenn auch letztere in demselben eingehende Berücksichtigung finden.

Versuche, die ich vor Jahren anstellte, um mir ein Urtheil in den Fragen des Wasseraufstiegs innerhalb der Holzgewächse zu bilden, führten dahin, dass ich mein ganzes Interesse dieser, seit Hales' Zeiten die Botaniker fast unablässig beschäftigenden Aufgabe zuwandte.

Um eine sichere Grundlage für meine Versuche zu gewinnen, sah ich mich alsbald veranlasst, eingehende anatomische Untersuchungen denselben vorausgehen zu lassen.

Diese anatomischen Untersuchungen nahmen zwei volle Jahre in Anspruch, und wurden schliesslich so ausgedehnt, dass sie sich auf die gesammten Leitungsbahnen der Pflanze erstreckten. Auch rein morphologische Probleme mussten behandelt werden, und hoffe ich durch Erörterung derselben eine einfachere und einheitlichere Auffassung vom anatomischen Bau der Leitungsbahnen der Gewächse angeregt zu haben. An verschiedenen Stellen im Text, besonders aber in der auf Seite 468 beginnenden Zusammenstellung der anatomischen Er-

gebnisse dieser Arbeit, versuchte ich es, den eingenommenen Standpunkt näher zu begründen.

Nach Abschluss des anatomischen Theiles meiner Untersuchungen wandte ich mich von Neuem der physiologischen Aufgabe zu, deren Behandlung die zweite Hälfte dieses Werkes füllt.

Meine über das Saftsteigen in den Holzgewächsen gesammelten Erfahrungen legten es mir endlich nah, auch bestimmte technische Fragen in Betracht zu ziehen. So kommt es, dass der letzte Abschnitt dieses Buches der Holzimprägnirung gewidmet ist.

Die morphologische Seite meiner Aufgabe habe ich streng von der physiologischen getrennt.

Das glaube ich an dieser Stelle hervorheben zu müssen, um zugleich den Standpunkt näher zu bezeichnen, den ich in Fragen der wissenschaftlichen Behandlung des inneren Baues der Gewächse einnehme.

Dieser Standpunkt ist, soweit es sich nur um die Erforschung des anatomischen Baues handelt, ein rein morphologischer.

Denn die Formenlehre hat von allen Einflüssen frei zu bleiben, die sich auf die Verrichtungen erstrecken.

Auf dieser Grundlage ruht, meiner Ueberzeugung nach, alle morphologische Erkenntniss, und darf diese Grundlage daher auch nicht verlassen werden, ohne dass hieraus die nachtheiligsten Folgen für die Entwicklung unserer Wissenschaft erwachsen.

Die Morphologie als solche ist eine rein formale Wissenschaft und gleicht darin etwa der vergleichenden Grammatik, dass sie ihre Formen erklärt, indem sie dieselben ableitet. Sie darf sich ebensowenig durch die Functionen der abzuleitenden Formen, wie die vergleichende Grammatik durch den Sinn der abzuleitenden Worte bestimmen lassen.

Nicht dass eine physiologische Behandlung der äusseren und inneren Gestaltung eines Naturkörpers weniger fruchtbringend wie die morphologische wäre, dieselbe bildet aber eine andere Disciplin.

Von jeher hat man das Bedürfniss empfunden, auch nach

den Verrichtungen der inneren Glieder des Pflanzenkörpers zu fragen. Schon Grew und Malpighi stellten sich solche Aufgaben, und spätere Forscher folgten ihnen nach. So wurden denn auch die Bezeichnungen der anatomischen Elemente des pflanzlichen Körpers vielfach von physiologischen Gesichtspunkten beeinflusst, und dankt das tracheale System der Pflanzen bekanntlich der Vorstellung seinen Namen, dass es der Durchlüftung diene. Mit fortschreitender Klärung der wissenschaftlichen Aufgaben grenzten sich die Gebiete der Morphologie und Physiologie von einander ab und entwickelten sich selbständig weiter, ohne freilich zu voller gegenseitiger Unabhängigkeit zu gelangen. Zahlreiche Bezeichnungen auf morphologischem Gebiete, von früher übernommen, sind auf Grund physiologischer Vorstellungen entstanden, und mit manchen physiologischen Begriffen, wie denjenigen der „Geschlechtsorgane", wird auch heute noch vielfach so operirt, als wenn sie morphologische wären. Das hängt damit zusammen, dass ja in der That Organe und Functionen in der Natur nicht getrennt bestehen und nur logisch getrennt werden, um dem Aufbau einer Wissenschaft zu dienen. Morphologie und Physiologie bestehen an sich in der Natur nicht und stellen nur zwei bestimmte Richtungen vor, welchen wir folgen, um zu einem Verständniss der uns umgebenden Naturkörper zu gelangen.

Die Morphologie findet ihre Aufgabe allein darin, eine Gestalt aus anderen abzuleiten, verschiedene Gestalten auf einen gemeinsamen Ursprung zurückzuführen. Ist ihr dies gelungen, so hat sie ihr Ziel erreicht, eine morphologische Erklärung für irgend einen gegebenen Zustand gegeben. Der Weg, der zur morphologischen Erkenntniss führt, ist derjenige des Vergleiches, doch deshalb nur, weil man diesem Weg eine phylogenetische Bedeutung beilegt. Da ein directer phylogenetischer Nachweis für den Ursprung eines gegebenen Gebildes nicht zu liefern ist, so bleibt die Morphologie auf indirecte Methoden angewiesen. Vielfach wird sie in ihrer Aufgabe durch die Ontogenie unterstützt, doch auch durch diese insoweit nur, als sie phylogenetische Gesichtspunkte zu liefern vermag. Auch Bildungsabweichungen gewinnen morphologischen Werth, wenn sie als Rückschlagserscheinungen gelten können. Die morphologisch gleichwerthigen Gebilde bezeichnen wir als homolog; es ist aber eine lange feststehende Thatsache, dass homologe Glieder viel-

fach verschiedene physiologische Functionen verrichten können, während dieselbe physiologische Function morphologisch ungleichen Gliedern oft zufällt.

Alles, was sich mit den Functionen der organisirten Körper befasst, ist Physiologie. Demgemäss bildet einen Theil der Physiologie auch die Frage nach den Ursachen einer bestimmten Gestaltung: die Anpassungslehre oder Oecologie [1]), fälschlich jetzt als Biologie bezeichnet, da doch Biologie überhaupt die Lehre von den lebenden Wesen ist. Vom physiologischen Standpunkt aus ist es durchaus berechtigt, alle Organe von gleicher Leistung — alle sogenannten „analogen Gebilde" — unter demselben Namen zu vereinigen, nur bildet dieser Name alsdann einen physiologischen Begriff. In diesem Sinne ist auch die physiologische Anatomie ein Theil der Physiologie und hat sich um den morphologischen Werth der Gebilde, die sie zusammenfasst, durchaus nicht zu bekümmern. Ja, es würde ebenso verkehrt sein, wenn sie sich durch morphologische Gesichtspunkte bestimmen liesse, als es unrichtig ist, sich bei Bildung morphologischer Begriffe an die Function zu halten. Die physiologisch-anatomischen Begriffe sind demgemäss auch keine morphologischen, und führt es zu Begriffsverwirrung, wenn sie als solche gelten sollen.

So fasst mit vollem Recht, vom physiologisch-anatomischen Standpunkt aus, Schwendener alle Gewebe des pflanzlichen Körpers, welche mechanischen Functionen dienen, als Stereome zusammen. Stereom ist demgemäss eine physiologisch-anatomische Bezeichnung und hat selbstverständlich nichts mit einem morphologischen Begriff zu thun. Sie hat folgerecht von allen morphologischen Unterschieden abzusehen und umfasst demgemäss auch morphologisch völlig verschiedene Gewebe. Sie entspricht auf dem Gebiete des inneren Baues der Gewächse etwa einem solchen Begriff, wie Assimilationsorgane oder Schauapparate auf demjenigen der äusseren Gliederung. Denn zu Stereomen gehören Elemente der Rinde und des Centralcylinders und in letzterem sowohl des Grundgewebes wie des Gefässbündels, ganz ebenso wie Stamm- und Blatttheile als

1) Vergl. hierzu E. Haeckel, Generelle Morphologie, 1866, Bd. I, p. 8; Bd. II, p. 286.

Assimilationsorgane, Hochblätter, Sepalen, Petalen, Staubblätter u. s. w., als Schauapparate ausgebildet sein können.

Daher zwischen beiden Gebieten scharf zu scheiden ist, wie ich es auch bemüht war im Laufe dieser Arbeit zu thun.

Eine gewisse Schwierigkeit bereitet unter Umständen die richtige Verknüpfung anatomischer und histologischer Begriffe. Die Histologie ist, da sie sich mit der Structur der Elemente befasst, ein Theil der Morphologie, doch die histologischen Differenzirungen decken sich nicht immer mit den anatomischen. Es hängt das damit zusammen, dass homologe Gebilde ungleiche Structur besitzen können, während umgekehrt gleiche Structur anatomisch-ungleichwerthigen Gebilden zukommen kann. Da erscheint es denn auch vollkommen berechtigt, alle in ihrer Structur übereinstimmenden Elemente unter derselben histologischen Bezeichnung zu vereinigen, dabei aber festzuhalten, dass sie ihrem morphologischen Werthe nach auch verschieden sein können. So dürfen sehr wohl „Sklerenchymfasern" alle faserförmigen Elemente mit bestimmtem Bau ihrer Wandung heissen, doch muss weiter zwischen Sklerenchymfasern der Rinde, des Grundgewebes im Centralcylinder, zwischen Holzfasern und Bastfasern unterschieden werden. Umgekehrt wäre es hingegen unrichtig die Bezeichnung Bastfasern auf alle Sklerenchymfasern auszudehnen, da von jeher die Bezeichnung Bastfasern an die Vorstellung einer bestimmten morphologischen Werthigkeit geknüpft war und somit auch für diese erhalten bleiben muss. Es verhält sich damit nicht anders, als wie etwa mit der Unterscheidung von Sepalen und Petalen, die nach der Homologie und nicht nach deren Ausbildung getroffen wird, was denn auch weiter zu Bezeichnungen wie corollinische Sepalen, calycinische Petalen, nicht aber zur Identificirung von Kelch und Blumenkrone geführt hat.

Dass es der Morphologie oft schwer wird, richtige Abstractionen zu bilden, daraus erwächst ihr kein Vorwurf. Auch würde dieser Vorwurf keinesfalls die Methode treffen, die sie befolgt, vielmehr nur die Unvollkommenheit unserer Induction.

Indem ich mich aber in dem anatomischen Abschnitte meiner Arbeit auf rein morphologischen Standpunkt stelle, folge ich der Tradition der grossen deutschen Anatomen Hugo v. Mohl und Anton de Bary und bekenne mich zu einer Richtung, wie sie auch Ph. Van Tieghem in Frankreich vertritt.

Am Schlusse spreche ich meinen hiesigen Collegen Schimper, H. Schenck und Noll meinen verbindlichen Dank aus für die werthvolle Hilfe, die sie mir bei meinen Versuchen und bei den Correcturen zu Theil werden liessen.

Bonn, Anfang Januar 1891.

Eduard Strasburger.

Inhaltsübersicht.

Der Bau der Gymnospermen.

Coniferen.

Der anatomische Bau der Coniferen kann, dank zahlreichen werthvollen Untersuchungen, unter welchen besonders diejenigen von Sanio [1]) und Russow [2]) hervorzuheben sind, als mit am besten bekannt, gelten. Nichtsdestoweniger glaube ich im Folgenden noch zur weiteren Vertiefung dieser Kenntniss beitragen zu können.

Ich beginne zuerst mit einigen Bemerkungen über das Holzparenchym und dessen Beziehung zu der Harzbildung.

Das Holz der Kiefer enthält bekanntlich kein anderes Parenchym als das die Harzgänge umgebende. Die Zahl der in der Längsrichtung verlaufenden Harzgänge, und somit dieser Holzparenchym-Stränge, ist bei der Kiefer relativ gross [3]) und es lässt sich berechnen, dass jeder Markstrahl, der ja eine grössere Anzahl von Jahresringen des Holzkörpers durchsetzt, in die Möglichkeit versetzt ist, mit dem Holzparenchym in Berührung zu kommen. Verfolgt man die einzelnen Harzgänge nach beiden Richtungen hin im Holz, so kann man feststellen,

---

1) Besonders in den Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VIII und IX.

2) Besonders im Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 29, und in den Sitzungsberichten der Dorp. naturwissenschaftl. Gesellschaft 1881 u. 1882.

3) H. v. Mohl, Ueber die Gewinnung des venetianischen Terpentins, Bot. Ztg. 1859, p. 340. Die meisten Harzgänge fand H. v. Mohl bei Pinus nigricans, annähernd gleich viel bei Pinus silvestris und Larix europaea, weit weniger bei Picea excelsa. Zählungen ergaben für dieselbe Flächeneinheit bei Pinus nigricans 190, Pinus silvestris 124, Larix europaea 128, Picea excelsa 78 Harzgänge.

dass dieselben an ihren Enden blind abschliessen, unter Umständen sich dort auch mit anderen Harzgängen vereinigen. Es gilt somit für die Harzgänge der Kiefer ganz das nämliche wie für diejenigen der Fichte und Lärche, die Heinrich Mayr in ihrem Verlauf eingehend studirt hat [1]). Ebenso kann man auch bei der Kiefer feststellen, dass der Harzgang sich in seinem Verlauf an denselben Jahresring hält, nie aus einem Jahresring in einen anderen übertritt, und dass seine mittleren Abschnitte meist der Stammmitte näher als die Enden liegen [2]). Der Verlauf der Harzgänge ist ein für gewöhnlich tangential etwas geschlängelter, wodurch es eventuell auch kommt, dass zwei benachbarte Harzgänge zusammenstossen und eine Strecke weit vereint laufen, um sich weiterhin wieder zu trennen. Solche seitliche Vereinigungen sind aber, wie schon Kny angiebt, bei der Kiefer nur selten, häufiger hingegen bei der Fichte und Lärche [3]). Durch die querverlaufenden Harzgänge der mehrschichtigen Markstrahlen werden die annähernd in einem Radius gelegenen, längsverlaufenden Harzgänge des Holzparenchyms mit einander verbunden; auch schliessen die Markstrahlharzgänge stets an ihrem inneren Ende in einem Holzparenchymharzgange ab. Trotz dieser Vereinigungen und der vorkommenden seitlichen Anastomosen, sind die Harzgänge weit davon entfernt, ein einziges zusammenhängendes System im Innern des Stammes zu bilden, wohl aber wird das sie umgebende Holzparenchym durch Anschluss an die Markstrahlen in die grosse parenchymatische Einheit aufgenommen, die ihre Nahrung aus dem stärkeleitenden Bastparenchym schöpft. So wird das die Harzgänge umgebende Holzparenchym auch mit dem für die Harzbildung nothwendigen Stärkemehl versehen. Bei Pinus-Arten, Picea, Larix, Pseudotsuga schliessen die Markstrahlen, wenn sie mehrschichtig sind, fast stets einen Harzgang ein. Bei Larix sind zweischichtige Markstrahlen ohne Harzgang nicht selten, meist aber auch mit Harzgang versehen [4]). — Coniferen, welchen das Holzparenchym gänzlich

1) Bot. Centralbl. 1884, Bd. XX, Entstehung und Vertheilung der Secretionsorgane der Fichte und Lärche, p. 215.

2) Ebendas. p. 216.

3) Kny, Botanische Wandtafeln, Text p. 209.

4) Kleeberg, Die Markstrahlen der Coniferen, Bot. Ztg. 1885, Sp. 692.

fehlt, soll es nach Gregor Kraus nicht geben [1]). Zunächst kommt das Holzparenchym allen denjenigen Abietineen zu, welche Harzgänge im Holzkörper aufweisen: es umgiebt dort diese Harzgänge. Bei denjenigen Abietineen, welche der Harzgänge im Holzkörper entbehren, sowie bei den übrigen Coniferen, bildet es aber einfache, den Tracheïden gleichlaufende Zellreihen, die in grösserer oder geringerer Anzahl zwischen die Tracheïden eingestreut sind. Eigentlich zahlreich werden diese Holzparenchymzellreihen nur bei den Cupressineen und einem Theile der Taxineen. Je nach Umständen kann übrigens die Menge der in einem Holzkörper vertretenen Holzparenchymzellreihen Schwankungen unterworfen sein. So lagen mir beispielsweise Zweigstücke von Cedrus Libani vor, die nicht nur unter einander in Hinblick auf die Zahl der vorhandenen Holzparenchym-Reihen abwichen, sondern auch merklich verschiedene Mengen von Holzparenchym in den verschiedenen Jahresringen aufwiesen. Beide Zweigstücke waren anderseits holzparenchymreicher als die untersuchten Schaftstücke derselben Pflanzen. Der Holzparenchym-Gehalt des Cedernholzes geht unter Umständen so weit herab, dass Gregor Kraus die Ceder unter denjenigen Coniferen anführt [2]), bei welchen man nur nach längerem Suchen sich von dem Vorhandensein von Holzparenchym überzeugt. — Aehnlich wie mit der ungleichen Menge und der ungleichmässigen Vertheilung der Holzparenchym-Zellreihen verhält es sich mit der Zahl und Anordnung der Harzgänge bei den mit Harzgängen versehenen Coniferen. So giebt beispielsweise Heinrich Mayr an [3]), dass im Holzkörper der Fichte und Lärche [4]) auf eine zahlreiche Harzgänge führende Jahreszone eine solche mit nur wenig Harzgängen zu folgen pflegt. — Die einfachen Holzparenchym-Zellreihen in dem Holze der Coniferen sind im Querdurchschnitt oft schwer zu unterscheiden, wenn auch ihre Wände weniger stark verdickt sind wie diejenigen der Tracheïden. Im Längsschnitt erkennt man sie hingegen leicht an ihrem Inhalt und an den, die aufeinander

---

1) Würzburger Naturwiss. Zeitschr., Bd. V, 1864, Mikroskopische Unters. über den Bau lebender und vorweltlicher Nadelhölzer, p. 159.

2) l. c. p. 159.

3) l. c. p. 278.

4) l. c. p. 162.

folgenden Zellen trennenden Querwänden. Stets hängen die Holzparenchym-Zellreihen mit den lebendigen Markstrahlzellen zusammen durch ähnlich unbehöfte Tüpfel, wie solche die lebendigen Markstrahlzellen untereinander verbinden. Nach den Tracheïden zu zeigen die Holzparenchymzellreihen einseitig behöfte Tüpfel, und zwar weisen sie dieselben nicht nur auf den radialen, sondern auch auf den tangentialen Wänden auf. Alles Holzparenchym der Coniferen steht aber zur Harzbildung in Beziehung, und der Stärkegehalt der Holzparenchym-Zellreihen wird schliesslich durch Harz ersetzt. Nur bei Ginkgo biloba fand ich das Holzparenchym auch der Function der Aufspeicherung von Calciumoxalat angepasst, das in grossen Krystalldrusen sich in kurzen, stark erweiterten, dünnwandigen Holzparenchymzellen abgelagert findet. In der Function der Harzbildung stimmen mit dem Holzparenchym auch die Markstrahlen überein, die im Kernholz der Coniferen ebenfalls Harz erzeugen. Harzbildung und Gerbstofferzeugung sind die letzten Functionen der lebendigen Markstrahlzellen, welchen ihr Tod alsbald folgt. Deutlich ist es, dass bei diesen Bildungsvorgängen die Stärke der Markstrahlzellen verbraucht wird, sie schwindet in dem Maasse, als die Harztropfen, respective auch die Gerbstoffmassen auftreten[1]). Von den Markstrahlzellen aus wird Harz in die Tracheïden ergossen und diese je nach Umständen mehr oder weniger stark mit Harz angefüllt und imprägnirt. So kommt es denn, dass selbst bei der Edeltanne, die nur ausnahmsweise einige Harzgänge und nur äusserst spärlich Holzparenchymreihen besitzt, häufig die abgestorbenen, im Schaft steckenden Ueberreste von Aesten und das Kernholz der unteren Enden älterer Aeste vollständig von Harz durchtränkt sind[2]). Dieses im Kernholz vertretene Harz hat die Aufgabe dasselbe vor Zersetzung zu schützen. — In den Stoffwechsel tritt das Harz in keinem Falle mehr ein, so dass es als Reservestoff nicht gelten kann. Auch die in den Harzgängen aufgespeicherten Harzmassen gehen mit auf das Kernholz über. Die in den Harzgängen und Harzdrüsen der Coniferenblätter erzeugten Harzmassen werden andererseits mit

1) Vergl. auch Dippel, Bot. Ztg. 1863, p. 256.

2) Vergl. H. v. Mohl, Bot. Ztg. 1859, p. 340.

diesen Blättern abgeworfen [1]). Wie später noch eingehender erörtert werden wird, endigen die Harzgänge der Kiefernnadeln blind an ihrer Basis, und kann somit ihr Inhalt nach dem Stamme gar nicht abgeführt werden. Ebenso endigen blind, nach Heinrich Mayr, die beiden Harzgänge in den Nadeln der Lärche [2]). Hingegen gehen, ebenfalls nach Heinrich Mayr, in kräftigen Fichtennadeln die beiden Harzgänge durch die Insertionsstelle und stehen mit den Hauptrindengängen in Verbindung. Doch soll diese Verbindung schon Mitte Juni durch Korkbildung unterbrochen werden, wobei die Harzgänge in der Basis der Nadel sich mit Thyllen anfüllen [3]). Es hat das in den Coniferenblättern gebildete Harz somit wohl nur die Aufgabe, diese zu schützen und wird in den Stamm nicht abgeleitet. Andererseits ist dafür gesorgt, dass dasjenige Harz, welches in den Stammtheilen selbst gebildet wurde, nicht verloren geht. So wird bei der Borkenbildung ein Ausfluss der Harzmassen aus den Markstrahl-Harzgängen dadurch verhindert, dass sich diese zunächst mit Füllgewebe verschliessen und in letzterem erst das Phellogen entsteht [4]). Die Coniferen opfern erhebliche Mengen von Reservestoffen, um Harz zu produciren, denn es ist klar, dass die Stärke an die Orte geführt wird, an welchen Harzbildung erfolgen soll. Der Vortheil, der hieraus der Pflanze erwächst, besteht einerseits in dem Schutze des Kernholzes gegen Zersetzung, andererseits in der Möglichkeit, durch Harzerguss Wunden zu schliessen. Für einen raschen Harzerguss kommen nur die mit flüssigen Terpenen erfüllten Harzbehälter in Betracht. Ihr flüssiger Inhalt steht unter Druck und tritt daher in grossen Mengen an den Wundflächen hervor. An einer quer durchschnittenen Kiefernnadel, wie an einem quer durchschnittenen Fichtenspross, ist der ganze Querschnitt alsbald mit flüssigem Terpen überzogen, das an der Luft verharzt. Die Knospen-Deckschuppen der Fichte sind ganz durch Harz verklebt, das nach Heinrich Mayr [5]) aus den äussersten Schuppen stammt, die je zwei grosse Harzgänge be-

---

1) Vergl. auch R. Hartig, Arbeiten aus dem Forstbot. Inst. zu München, II, 1882, p. 56.

2) l. c. p. 280.

3) l. c. p. 281.

4) H. Mayr, l. c. p. 188.

5) l. c. p. 281.

sitzen, welche beim Vertrocknen ihren Inhalt nach aussen ergiessen. Im Kernholze befindet sich das Terpen bereits im verharzten Zustande, und daher kommt es, dass aus einem quer durchsägten Coniferenstamme, der Harzgänge im Holzkörper führt, das Harz fast ausschliesslich nur aus dem Splint hervortritt [1]). Mit einziger Ausnahme von Taxus haben alle Coniferen Harzbehälter in diesem oder jenem Gewebstheile aufzuweisen. Nach Ph. van Tieghem [2]) besitzen, Taxus ausgenommen, alle Coniferen Harzgänge in den Blättern und so auch in der primären Rinde. Niemals sind hingegen Harzgänge in der primären Wurzelrinde vertreten. Bei einer Anzahl Coniferen, vornehmlich Taxineen und Taxodineen, fehlen den Wurzeln Harzgänge überhaupt. Eigen ist Ginkgo durch das Vorhandensein von Harzgängen im Mark. Andere Coniferen, wie Cedrus, Abies, Pseudolarix, bilden in der Wurzel einen centralen Harzgang, weiter aber keinen in dem secundären Zuwachs. Pinus, Larix, Picea, Pseudotsuga haben Harzgänge in den primären wie secundären Gefässtheilen des Stammes und der Wurzel. Ausser in der primären weisen auch in der secundären Rinde Harzbehälter auf Araucaria, Widdringtonia, Thuya, Biota, Cupressus [3]). — An Aststumpfen wird, wo nur Holzparenchym, nicht Harzgänge im Holzkörper vertreten, Harz und Gerbstoff aus dem Inhalt der Markstrahlen und des Holzparenchyms erzeugt. — Inwieweit die Harzgänge und Harzdrüsen der Blätter und der primären Rinde der Coniferen etwa auch gegen Thierfrass Schutz gewähren, mag dahingestellt bleiben. Von Bedeutung könnte in dieser Beziehung die von Wallach festgestellte Thatsache sein, dass die Stämme der Coniferen fast nur Pinen führen, während sich in den Coniferenblättern neben Pinen auch Limonen vorfindet. Dieses Limonen bildet sich überall dort, wo das Pinen mit Säuren zusammentrifft, in den sehr säurereichen Früchten der Aurantiaceen z. B. gewinnt es ganz besonders die Oberhand [4]). Wie wirksamen

---

1) Vergl. H. v. Mohl, Bot. Ztg. 1859, p. 340.

2) Mémoire sur les canaux sécréteurs des plantes, Ann. d. sc. nat. Bot., V. sér., T. 16, p. 186.

3) Vergl. hierzu auch de Bary, Vergleichende Anat., p. 559.

4) Annalen der Chemie, Bd. CCXLVI, p. 237. Im Gegensatz zu dem gewöhnlichen im Pommeranzenschalöl, Kümmelöl u. s. w. enthaltenen Limonen, ist übrigens das Coniferen-Limonen eine den

Schutz aber solche ätherischen Oele gegen Thierfrass gewähren, geht aus den neuerdings von Stahl veröffentlichten Untersuchungen hervor [1]. — Es ist vielleicht an dieser Stelle auch nicht uninteressant, hervorzuheben, dass die Nadeln der Eibe, die einzigen Coniferen-Laubblätter die ohne Harzbehälter sind, ein giftiges, als Taxin bekanntes Alkaloid [2] enthalten und durch dieses jedenfalls hinlänglich geschützt sind.

Die Markstrahlen der Coniferen, und zwar der im Holzkörper verlaufende Abschnitt derselben, haben eine äusserst umfangreiche Litteratur aufzuweisen. In letzter Zeit befassten sich speciell Paul Schulz [3] und Kleeberg [4] mit denselben; gefördert wurde aber der Einblick in den Bau der Markstrahlzellen besonders durch Russow. Diese Förderung erblicke ich in dem Nachweis, dass alle Tüpfel, welche lebendige Markstrahlzellen mit tracheïdalen Elementen verbinden, einseitig behöft sind, dass andererseits die Markstrahlen stets von gleichgerichteten, ununterbrochen fortlaufenden Intercellularen begleitet werden [5].

Ich habe im Folgenden nicht die Absicht, auf Gestalt der Markstrahlen und Markstrahlzellen, auf die Anzahl und die Vertheilung der Tüpfel an denselben und auf dergleichen mehr einzugehen, und verweise wegen dieser Verhältnisse auf ältere Angaben, vielmehr will ich hier nur ganz allgemein die anatomischen Differenzirungen, die sich in den Markstrahlen der Coniferen vollzogen haben, erörtern.

Die weitest gehende Differenzirung weisen die Markstrahlen im Holzkörper der Abietineen, im besonderen der Pinus-Arten, auf. Dort treten uns lebendige und todte Elemente im Mark-

---

polarisirten Lichtstrahl nach links ablenkende, physikalisch isomere Modification: daher Links-Limonen, l. c. p. 222.

1) Pflanzen und Schnecken, p. 44.

2) Vergl. Husemann und Hilger, Die Pflanzenstoffe, 2. Aufl., 1882, Bd. I, p. 327.

3) Das Markstrahlgewebe und seine Beziehungen zu den leitenden Elementen des Holzes, Jahr. des bot. Gartens in Berlin, Bd. II, p. 210.

4) Die Markstrahlen der Coniferen, Bot. Ztg. 1885, p. 673.

5) Vergl. vornehmlich den Aufsatz: Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, im Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 134 ff.

strahl mit scharfer Sonderung entgegen. Die todten Elemente sind durch zweiseitig behöfte Tüpfel, echte, mit einem Torus auf der Schliesshaut versehene Hoftüpfel, mit den Tracheïden der Holzstränge und unter einander verbunden und führen nur wässrigen Inhalt oder Luft, während die lebendigen Elemente des Markstrahls mit den Strangtracheïden [1]) und den todten tracheïdalen Zellen des Markstrahls durch einseitig behöfte Tüpfel, deren Schliesshaut ohne Torus ist [2]), unter einander durch einfache Tüpfel ohne Hof und Torus, communiciren, einen lebendigen Zellleib besitzen und der Leitung plastischer Stoffe dienen. Die todten Elemente des Markstrahls werden in Hinblick auf ihren Bau und Inhalt von de Bary zu den Tracheïden gezählt [3]); eigentlich sind sie tracheïdales Parenchym; wir werden sie im Folgenden so oder als tracheïdale Markstrahlelemente bezeichnen. Es liess sich von vornherein annehmen, dass die tracheïdalen Markstrahlelemente den Wasseraustausch in radialen Bahnen erleichtern, und meine, später mitzutheilenden Versuche sollen dies auch bestätigen. Dass sie hingegen, wie Paul Schulz [4]) wollte, der Wasseraufspeicherung dienen sollten, ist schon durch ihre geringen Maasse ausgeschlossen. Für ihre Function als radiale Wasserbahnen sprechen bereits die anatomischen Befunde, so ihr Inhalt, ihre behöften, besonders an den terminalen Wänden angebrachten Tüpfel, sowie die Art ihrer Verbindung mit den Strangtracheïden und den lebendigen Markstrahlzellen. Selbst in relativ luftreichen Partien des Splintes führen die tracheïdalen Markstrahlelemente bei den Pinus-Arten Wasser, während dies bei den Fichten nicht so in die Augen fällt, die Bedeutung dieser Elemente dort aber auch sehr zurücktritt. Bei den Kiefern fällt diesen Elementen in der That die Aufgabe zu, auch in älteren Theilen des Splintes noch die radiale Verbindung unter den Wasserbahnen zu unterhalten, während bei den Fichten ihre Function eine localisirtere ist, wie der Umstand zeigt, dass ihre Reihen von Anfang an durch lebendige Zellen unterbrochen sind. Tangentiale Hoftüpfel in den Strang-

1) Wie ich hier kurz die Tracheïden der Holzstränge in Gegensatz zu den tracheïdalen Elementen des Markstrahls nennen will.

2) Vergl. Russow, l. c. p. 135.

3) Vergl. Anat., p. 505.

4) l. c. p. 222.

tracheïden sorgen ausserdem bei den Fichten für die Verbindung der aufeinander folgenden Jahresringe. Bei denjenigen Coniferen, welchen die tracheïdalen Markstrahlelemente ganz abgehen, wird letztere Verbindung ausschliesslich durch tangentiale Hoftüpfel unterhalten. Es gehen die tracheïdalen Markstrahlelemente allen Taxineen, Cupressineen, Taxodineen, Araucarieen und einem namhaften Theile der Abietineen ab. Alle Coniferen, denen die tracheïdalen Markstrahlelemente fehlen, haben im Spätholz [1]) die eben erwähnten tangentialen Hoftüpfel aufzuweisen. Das Vorhandensein von tracheïdalen Markstrahlelementen schliesst andererseits die Existenz von Tangentialtüpfeln in den Strangtracheïden nicht aus: alsdann unterstützen sich eben diese Elemente in ihrer Aufgabe. In der Gattung Pinus kommen tracheïdale Markstrahlemente allein, oder auch in Verbindung mit Tangentialtüpfeln vor. Den Strangtracheïden von Pinus silvestris fehlen, bei vollkommenster Ausbildung der tracheïdalen Markstrahlelemente, die Tangentialtüpfel vollständig. Bei den beiden dreinadeligen Kiefern: Pinus canariensis Sweet und Pinus rigida Mill. sind trotz sehr vollkommener Ausbildung der tracheïdalen Markstrahlzellen Tangentialtüpfel vorhanden, doch nur klein und im Ganzen genommen nur spärlich. Man trifft sie zwar auf jedem Tangentialabschnitte, der die Grenze des Spätholzes und nächstjährigen Frühholzes streift, doch nur an einzelnen Stellen zahlreich, an anderen vereinzelt, an vielen Orten überhaupt nicht. Pinus excelsa Wall. und Pinus Strobus L., beides fünfnadelige Kiefern, zeigen eine sehr stark entwickelte tangentiale Tüpfelung im Spätholz; die Tüpfel sind relativ gross und zahlreich. Bei Pinus excelsa fand ich demgemäss tracheïdale Säume nur an den wenigsten Markstrahlen. Ein ähnliches Resultat ergab die Untersuchung eines Astes von Pinus Strobus, während das Schaftholz aus einem kräftigen, siebenzehnjährigen Baume, bei gleichem Reichthum an Tangentialtüpfeln im Spätholz, eine reiche Ausbildung auch der tracheïdalen Markstrahlsäume aufwies. Andere Pinus-Arten habe ich nicht untersucht. Die Lärche

---

1) Aus später zu erörternden Gründen brauche ich die Bezeichnung Spätholz statt Herbstholz, und werde ich auch Frühholz und Folgeholz an Stelle von Frühlingsholz und Sommerholz gebrauchen.

(Larix europaea) besitzt tracheïdale Markstrahlsäume und Tangentialtüpfel, beide in gleich guter Ausbildung, doch die Tangentialtüpfel ganz vorwiegend nur auf die äusserste Tangentialwand des Spätholzes beschränkt. Bei der Fichte (Picea excelsa Lk.) sind die tracheïdalen Markstrahlsäume vielfach durch lebendige Elemente unterbrochen, die Tangentialtüpfel an den Strangtracheïden sind zahlreich und relativ gross. Bei der kanadischen Hemlockstanne (Tsuga canadensis Carr.) und der Himalaya-Ceder (Cedrus Deodara Loud.) besteht der tracheïdale Markstrahlsaum nur aus isolirten Elementen. Bei der Ceder vom Libanon (Cedrus Libani Barr.) sind diese Elemente ebenfalls isolirt oder fehlen ganz: alle drei haben starke tangentiale Tüpfelung an den Spättracheïden aufzuweisen. So auch die Edeltanne (Abies pectinata DC.) und alle übrigen Coniferen, denen die tracheïdale Einfassung der Markstrahlen abgeht. — In der Grösse pflegen die tangentialen Hoftüpfel den radialen Hoftüpfeln der Spättracheïden zu gleichen. Normaler Weise kommen sie nur dem Spätholze zu, und zwar zeigt sich in allen Fällen die letzte Wand des Jahresringes in der Tüpfelung ganz besonders bevorzugt. Bei schwacher Ausbildung der Tüpfelung, wie sie bei Pinus Laricio, canariensis, rigida, vorliegt, ist es so gut wie diese Wand allein, welche die Tüpfel trägt; wo mehrere Wände an der Grenze des Jahresringes mit Tangentialtüpfeln versehen sind, fällt die Zahl der Tüpfel in der zweiten Wand meist bereits sehr ab, und an der dritten und den folgenden Wänden finden sie sich nur noch vereinzelt. In manchen Fällen, so bei Pinus excelsa, bei der Fichte, Edeltanne, bei Tsuga, Juniperus, Ginkgo und Taxodium, habe ich die Tangentialtüpfel bis zur sechsten, ja selbst zur zehnten Wand verfolgen können. Man stellt unschwer fest, dass die Tiefe, bis zu welcher die Tangentialtüpfel ins Spätholz reichen, Schwankungen unterworfen ist, dass sie innerhalb desselben Jahresringes von Stelle zu Stelle variirt, im Allgemeinen aber bei stärkerer Entwicklung des Spätholzes die Tangentialtüpfel weiter einwärts im Jahresring zu verfolgen sind. In keinem Falle fand ich aber Tangentialtüpfelung als ständige Einrichtung in der ganzen Tiefe des Spätholzes vor. Sie stellt sich unter allen Umständen erst einige Zeit nach begonnener Spätholzbildung ein. Dieser Umstand, sowie die Thatsache, dass es oft nur die letzte oder doch nur die letzten Wände des

Spätholzes sind, welche Tangentialtüpfel tragen, zeigt zur Genüge, dass es sich bei deren Bildung nicht um Erleichterung der Verbindung mit dem vorausgehenden Früh- und Folgeholz, vielmehr mit dem nachfolgenden, nächstjährigen Frühholz handelt. Wir werden später erfahren, dass ganz ähnliche Einrichtungen auch meist im Holze der Dicotylen bestehen. Es handelt sich in allen diesen Fällen darum, dem in der Entwicklung begriffenen Frühholz das Wasser zuzuführen. Dies wird durch Herstellung der tangentialen Verbindungsbahnen erreicht, welche weiterhin, nach Fertigstellung der neuen Bahn im Früh- und Folgeholze, entbehrt werden können. Dass auch dem englumigen Spätholze an sich die tangentialen Verbindungen, bei Zurücktreten der radialen Hoftüpfel, die auf den schmalen, radialen Wänden keinen Platz mehr finden, von Vortheil sein dürften, bleibt zugleich unbenommen. Dass den Tangentialtüpfeln des Spätholzes ausserdem eine Rolle in der Versorgung des Cambiums mit Wasser zufallen sollte, wie R. Hartig [1]) und Godlewski [2]) annehmen, ist ebenfalls nicht ausgeschlossen. Dass das Spätholz die Thätigkeit des nächstjährigen Frühholzes zunächst unterstützen muss, werde ich später direct zu zeigen suchen. — Erich Schmidt [3]) fiel es neuerdings auf, dass sich Tangentialtüpfel zwischen Tracheïden oftmals in der Nähe des Einsatzes neuer secundärer Markstrahlen finden. Da dürfte es gelten, mit Hilfe derselben dem durch die Einschaltung des Markstrahls zunächst gestörten radialen Wasserverkehr rasch zu Hilfe zu kommen. — Bei Larix europaea beobachtete ich wiederholt an Stellen, wo das Spätholz einen Harzgang führte, welcher den Wasseraustausch in tangentialen Bahnen stören musste, die Ausbildung von Tangentialtüpfeln. In einem Falle waren nicht weniger als acht Schichten von Spättracheïden zu den beiden Seiten eines solchen Harzganges von Tangentialtüpfeln durchsetzt. Im Uebrigen führte in diesem Jahresring fast nur die äusserste Wand solche Tüpfel. Hier konnte es sich auch nur um die

---

1) Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, III, p. 53.

2) Zur Theorie der Wasserbewegung in den Pflanzen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 618.

3) Ein Beitrag zur Kenntniss der secundären Markstrahlen. Inaug.-Diss., Freiburg i. B. 1890, p. 27.

Ermöglichung eines Ausgleichs zwischen den zu beiden Seiten des Harzganges gelegenen Tracheïden, nicht um eine Rücksicht auf spätere Beziehungen handeln. Daher ist wohl die Annahme gestattet, dass die tiefer in das Spätholz eines Jahresringes eingreifenden Tangentialtüpfel zunächst einem localen Bedürfniss dienen, wenn sie auch weiterhin dem nächstjährigen Zuwachs zu Gute kommen. Für die Annahme dass aber auch das Cambium Nutzen aus dieser Einrichtung schöpft, liesse sich weiterhin der Umstand anführen, dass sich die ruhenden Cambiumzellen ganz ebenso in die Tüpfelflächen der letzten Tracheïdenschicht hineinwölben, wie die lebendigen Zellen der Markstrahlen in die angrenzenden Tracheïden. Auch zwischen Cambiumzellen und der letzten Tracheïdenschicht finden wir somit im Winter typisch ausgebildete, einseitig behöfte Tüpfel. Erst mit Beginn der Frühholzbildung, wie schon Russow bemerkte [1]), somit ein halb Jahr später, wird an diesen einseitig behöften Tüpfeln der zweite Hof hinzugebildet und die Schliesshaut einseitig mit Torus versehen. Die Hinzubildung der zweiten Hofhälfte beweist aber zugleich, dass der Tüpfel auch weiter noch, in veränderter Weise, leistungsfähig zu bleiben habe. — Wie vielfach hervorgehoben wurde, weichen benachbarte Stellen eines Jahresringes in der Zahl der Tangential- und Radialtüpfel von einander ab; das locale, durch das Zusammenwirken aller Factoren bestimmte Bedürfniss ist jedenfalls für deren Bildung bestimmend; es wird als Reiz empfunden, auf welchen das Protoplasma durch eine entsprechend schaffende Thätigkeit antwortet. Auffallend erscheint in dieser Beziehung das Beispiel der zu den beiden Seiten von Harzgängen bei der Lärche erfolgten Bildung von Tangentialtüpfeln, einer Erscheinung, die öfters zu beobachten ist. Unter Umständen kann ein sich einstellendes Bedürfniss selbst die Bildung von Tangentialtüpfeln an Orten veranlassen, an welchen sie sonst nicht zu erfolgen pflegt. So fand ich tangentiale Hoftüpfel an der Aussengrenze mehrerer Jahresringe von Pinus silvestris. Diese Jahresringe waren äusserst schwach entwickelt, so dass es von Vortheil sein möchte, zu einem einheitlichen Ganzen sie zu verbinden. Russow fand [2]) in dem Holze von zwei Wurzeln von Pinus

1) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 37.
2) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 37.

silvestris, deren eine 73 Jahresringe zählte, Tangentialtüpfel nicht nur im Spät-, sondern auch im Frühholze. Diese Tüpfel gingen durch sämmtliche Jahresringe, die sehr eng waren, und bei denen das Spätholz meist nur aus ein bis zwei abgeplatteten, wenig verdickten Zellen bestand. Die Tangentialtüpfel setzten sich hier auf die Wandflächen der zwei bis fünf ersten Zellreihen des Frühholzes fort. Im Stammholz von Pinus silvestris hat Russow Tangentialtüpfel in Spättracheïden nie gesehen, wohl aber ist ihm eine solche Tüpfelung im Frühholze bei mehreren Individuen vorgekommen, an einem fünfzehnjährigen Exemplar sogar bis in die zehnte Tracheïdenreihe hinein [1]). Ich selbst fand auch in einem Zweige von Pinus Laricio, der zum Theil äusserst schwach entwickelte Jahresringe aufzuweisen hatte, eine durch sämmtliche Tracheïden der schwachen Jahresringe gehende tangentiale Tüpfelung. Bei der Fichte kam mir ein Fall zur Beobachtung, wo der Holzzuwachs im Frühjahr wohl vom Frost gelitten hatte; ein bis zwei Zellschichten waren da gebräunt und collabirt; das Cambium, welches ja auch der Winterkälte trotzt, hatte jedenfalls nicht gelitten, denn es setzte seine Thätigkeit fort; gelitten hatten somit nur junge, in Bildung begriffene Holzzellen; die auf diese abgestorbenen Elemente folgenden Tracheïden hatten aber, innerhalb zwei bis drei Reihen, tangentiale Hoftüpfel aufzuweisen. Die Markstrahlen waren von dem schädlichen Einflusse unberührt geblieben, sie durchsetzten in normaler Ausbildung die todte Zellschicht. — Eine fast noch weiter gehende Anpassungsfähigkeit an das local sich geltend machende Bedürfniss kommt der quantitativen Ausbildung der tracheïdalen Markstrahlsäume zu. Jeder radiale Längsschnitt durch das Holz der gemeinen Kiefer lehrt hinreichend, wie verschieden die Zusammensetzung der einzelnen Markstrahlen ist, wie wechselnd das Verhältniss der lebendigen zu den tracheïdalen Elementen. Kny hat gelegentlich schon eine Anzahl von Combinationen zusammengestellt [2]), um die angeführte Verschiedenheit zu zeigen. Besonders fiel mir aber diese Verschiedenheit bei der Untersuchung von Pinus canariensis auf, so dass ich mich veranlasst sehe, eine Reihe auf einander folgender Combinationen,

1) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 37.
2) Botanische Wandtafeln, Text p. 216.

wie sie mir in dem Holze dieser Pflanze in einem concreten Falle entgegentraten, hier zusammenzustellen. Das Holz war einem 13 cm dicken Aste entnommen, der von einem in der Villa Thuret zu Antibes erwachsenen Baume entstammte und den Herr Naudin die Güte hatte, mir im December 1888 frisch zu senden. Nach dem Vorbilde von de Bary [1]) bezeichne ich die Reihen der tracheïdalen Elemente der Markstrahlen mit römischen, der lebendigen mit arabischen Zahlen. Die Markstrahlen folgen in der Aufzählung so auf einander, wie sie mir an einem etwa 10 cm langen, radialen Längsschnitt, in der Richtung von oben nach unten, entgegentraten: — 1, IV — I — I, 1, II — I, 2, I — I, 1, I — 3, I — I, 1 — I, 1, III — IV — I, 2 — IV, 1, I — I, 2, I, 1 — I, 2 — V, 4, II — I, 3, IV — II — 2, IV — I, 3, IV — III, 1, II, 1, II — II, 2, II — II, 11, II (mit Harzgang) — I, 1, III — II, 10, I (mit Harzgang) — 1, II, 2, I — II, 1, I, 1, II, 2, I — 2, I — I, 1, II, 1 — II, 2, I — 4, I — 1 — I, 1 — 4 —. Ein Vergleich der Zusammensetzung dieser 32 Markstrahlen zeigt, dass nur die Combinationen I, 1 — I, 2 — I, 1, III und I, 3, IV bei denselben je zwei Mal wiederkehren. Auffallen muss in dieser Zusammenstellung auch die relativ grosse Zahl der durch römische Zahlen bezeichneten Reihen tracheïdaler Elemente.

Ganz übersehen oder doch nicht richtig gewürdigt wurden bis jetzt jene gedehnten Markstrahlen, die man bei Abietineen, Taxodineen, auch gewissen Cupressineen, bei aufmerksamem Suchen stets im Holzkörper findet [2]). Diese Markstrahlen sind fast immer nur einreihig und dadurch ausgezeichnet, dass ihre Zellen radial gestreckt sind, oft nur mit schmalen Stellen zusammenhängen, auch wohl vollständig von einander getrennt sind. Bei denjenigen Abietineen, welche tracheïdale und lebendige Elemente im Markstrahl besitzen, können die gedehnten Markstrahlen von der einen oder der anderen Art dieser Elemente gebildet sein. Auch dort aber, wo sie aus lebendigen Elementen zunächst bestehen, haben diese Elemente in nicht

---

1) Vergl. Anat., p. 506.

2) Aufgefallen sind dieselben Erich Schmidt, besonders bei Juniperus. Ein Beitrag zur Kenntniss der secundären Markstrahlen. Inaug.-Diss. Freiburg i. B. 1890, p. 23.

allzu grosser Entfernung vom Cambium ihren Inhalt eingebüsst [1]). Dieser Verlust des lebendigen Zellleibes erfolgt äusserst rasch dort, wo die Zellen nur durch schmale Brücken zusammenhängen. Ist gar eine Trennung des Zusammenhanges erfolgt, so sterben die von der Verbindung mit dem Cambium abgeschnittenen Elemente sofort ab und verlieren ihren Inhalt. An der Art der Tüpfelung ist aber auch später zu erkennen, ob solche isolirte, oft in längeren Reihen innerhalb des Holzkörpers auf einander folgende Elemente aus tracheïdalen oder aus lebendigen Zellen des Markstrahls hervorgingen. Da solche Zellen alsbald flachgedrückt werden, so erscheint dann aber auch wohl ihre Tüpfelung undeutlich. Die Veranlassung zum Auftreten solcher Markstrahlen soll uns erst weiterhin klar werden, zunächst begnüge ich mich damit, auf dieselben hingewiesen zu haben.

Wie besonders Russow hervorgehoben hat [2]), werden seitlich zwischen den Markstrahlzellen und auch zwischen den Markstrahlzellen und den angrenzenden Elementen der Holzstränge nicht nur bei Coniferen, sondern ganz allgemein Intercellulargänge ausgebildet. Auf radialen Längsschnitten aus frischem Holze kann man dieselben als ununterbrochen fortlaufende schwarze Linien leicht verfolgen. Auf tangentialen Längsschnitten präsentiren sie sich als kleine, dreieckig umschriebene Hohlräume, die bei den verschiedenen Coniferen verschiedene Weite besitzen können. Bei denjenigen Coniferen, die nur eine Art Markstrahlzellen führen, läuft je ein solcher Intercellulargang auch an den beiden zugeschärften Kanten jedes Markstrahls. Besonders schön ausgeprägt fand ich dies Verhalten in einem älteren Stamme von Ginkgo biloba und bei Araucarieen. Bei Dammara australis ist dieser Intercellulargang so hoch, dass er selbst an Alcoholpräparaten in die Augen fällt, somit auch dann, wenn die Luft durch Alcohol verdrängt wurde. Im radialen Längsschnitt erscheint er als ein wellig contourirter Flügel, der den beiden Markstrahlrändern folgt. Bei der Edel-

---

1) Die Abbildung Erich Schmidt's, l. c. Taf. II, Fig. 16 für Abies alba, dürfte wohl sicher durch einen solchen Markstrahl veranlasst worden sein.

2) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 135.

tanne sind die randständigen Intercellulargänge nicht vorhanden, ungeachtet auch dort der Markstrahl nur aus einer Art Zellen besteht. Für die Abbildung der die Markstrahlzellen begleitenden Intercellulargänge kann ich auf Russow verweisen, der sie für Juniperus communis, Pinus silvestris und Larix sibirica [1]) dargestellt hat. Auch die bekannten Wandtafeln von Kny [2]) zeigen uns solche Intercellularen für Pinus silvestris in richtiger Ausführung. Die Russow'schen wie die Kny'schen Abbildungen führen übrigens für Pinus silvestris Intercellulargänge auch an der Grenze zwischen den lebendigen und den tracheïdalen Markstrahlzellen vor, ohne besonderen Hinweis darauf, dass diese Intercellularen zwar an dieser Stelle vorhanden sein können, meist dort aber fehlen. Namentlich ist dies stets der Fall an der Grenze von zwei über einander stehenden Reihen von Markstrahltracheïden, ein Verhalten, das auch in der Kny'schen Tafel meist schon Berücksichtigung fand. In mehrschichtigen Markstrahlen bilden, wie schon berührt wurde, auch die nach innen zu an einander grenzenden Zellreihen Intercellulargänge aus. Alle diese Markstrahl-Intercellulargänge lassen sich, worauf noch zurückzukommen sein wird, durch das Cambium in die Rinde verfolgen [3]) und dienen vor Allem der Durchlüftung der lebendigen Gewebe. Daher in mehrschichtigen Markstrahlen auch innen Intercellulargänge verlaufen, daher auch, was noch bezeichnender, aus stärker verdickten und verholzten Markstrahlzellen meist Tüpfelkanäle nach den Intercellularen führen. Solche Tüpfelkanäle lassen sich besonders schön bei den Abietineen verfolgen. Bei der Edeltanne und der Lärche kann man sie auf jedem tangentialen Längsschnitt sehen, und hat sie denn auch bereits Russow für Larix sibirica abgebildet [4]). Bei der gemeinen Kiefer sind solche Tüpfelkanälchen hingegen nicht vorhanden, was sich aus der schwachen Verdickung der Markstrahlzellwände und dem Umstande, dass diese Wände nicht

---

1) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, Taf. III, Fig. 20, 21 und 26.

2) Botanische Wandtafeln mit erläuterndem Text, VI. Abtheilung, 1884, Taf. LII u. LIII.

3) Vergl. auch Russow, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 136, und so auch Kny, Bot. Wandtafeln, Text p. 214.

4) Bot. Centralbl., Bd. XIII, Fig. 26; die gegen den Intercellulargang verlaufenden Tüpfelkanäle mit *tk* bezeichnet.

verholzen, hinlänglich erklärt. Unschwer sind die nach den Intercellularen verlaufenden Tüpfelkanäle auch bei Juniperus chinensis zu beobachten; bei Taxus wird hingegen durch eine ungleichmässige Verdickung der Markstrahlzellwände dasselbe wie sonst durch Tüpfelkanäle erreicht. Im radialen Längsschnitt erscheinen diese Wände an ihrer Innenfläche wellig contourirt und ein Intercellulargang oft nur durch eine dünne Wandstelle von dem Zellinhalt getrennt. Die Holzparenchymstränge, respective Holzparenchym-Zellreihen, welche den Holzkörper durchsetzen, werden ebenfalls von lufterfüllten Intercellulargängen begleitet [1]), welche mit denjenigen der Markstrahlen in offener Verbindung stehen, freilich oft sehr eng sind. In denjenigen Holzparenchymsträngen und Markstrahlen, welche Harzgänge führen, sind es nur die den Harzgang unmittelbar umgebenden, secernirenden Zellen, welche ohne Intercellularen an einander schliessen. — Auch dort, wo die lebendigen Markstrahlzellen mit besonders schönen intercellularwärts gerichteten Tüpfelkanälen ausgerüstet sind, sieht man solche Kanäle nie aus den tracheïdalen Markstrahlelementen nach den Intercellularen führen. Ebenso kommt niemals eine Tüpfelung in den Tracheïden der Holzstränge vor, die nach den Intercellularen des Markstrahls oder des Holzparenchyms gerichtet wäre. So zeigt sich in allen Fällen das gesammte wasserleitende System durch die volle Dicke der Wand von den mit der umgebenden Atmosphäre communicirenden Markstrahl- und Holzparenchym-Intercellularen abgeschlossen. Die Intercellulargänge, die andererseits zwischen den Elementen dieses wasserleitenden Systems zu beobachten sind und die in keinem Coniferenholze ganz fehlen [2]), lassen sich auf längere Strecken hin nicht verfolgen und hängen niemals mit dem Intercellularsystem der lebendigen Zellen zusammen.

Nach dieser allgemeinen Orientirung will ich die Markstrahlen der von mir untersuchten Coniferen jetzt noch im Einzelnen durchnehmen.

Wie bekannt, werden bei der gemeinen Kiefer (Pinus silvestris) sowohl die einschichtigen, als auch die mit einem Harz-

---

1) Vergl. auch de Bary, Vergleichende Anat., p. 502, und Russow, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 137.

2) Vergl. auch Russow, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 102, 136.

gange (selten mit zwei Harzgängen) versehenen mehrschichtigen Markstrahlen an ihren beiden Rändern von einem oder von mehreren Stockwerken tracheïdaler Zellen eingefasst. Bei höheren, einschichtigen Markstrahlen sieht man auch tracheïdale Zellreihen in verschiedenen Höhen zwischen die lebendigen Zellreihen eingeschaltet. Die tracheïdalen Zellreihen laufen ebenso ununterbrochen wie die lebendigen im Markstrahl fort. Wie vornehmlich aus den Untersuchungen von Paul Schulz [1]) und von Kny [2]) bekannt, werden die tracheïdalen Elemente nicht sofort mit beginnendem Dickenwachsthum ausgebildet. Erst gegen Schluss des ersten Jahres, hin und wieder auch erst in der zweiten Zuwachszone, treten sie an den Markstrahlen auf. Zuerst mag ihr Vorhandensein insofern nicht nothwendig sein, als die Hoftüpfel der Strangtracheïden noch nach allen Richtungen orientirt sind. Doch auch nachdem die streng radiale Anordnung der Strangtracheïden erreicht ist und die Hoftüpfel auf die radialen Wände gebannt worden, vergeht noch geraume Zeit, bis dass die Markstrahltracheïden sich zeigen. Das Bedürfniss nach denselben stellt sich somit erst später ein, meist erst gegen Ende der Vegetationszeit, vornehmlich wohl um der Verbindung mit dem nächstjährigen Frühholz zu Gute zu kommen. Die Art und Weise, wie die ersten secundären Markstrahlen an den primären Vasaltheil der Gefässbündel ansetzen, hat Kny schon geschildert [3]). Das Vasalparenchym ist in den primären Gefässtheilen zwischen den behöft getüpfelten Spiraltracheïden vertheilt und läuft parallel zu denselben. Die ersten secundären in den Holzstrang einzuschaltenden Markstrahlen gehen mit Beginn des secundären Dickenwachsthums aus diesem Vasalparenchym hervor. Sie bilden radial an dasselbe ansetzende Leisten, die zunächst bedeutende Höhe besitzen und in welchen, wie auch Kny angiebt, die Elemente noch in der Längsrichtung gestreckt sind. Diese Leisten werden dann allmählich schmäler trennen sich auch wohl in mehrere über einander liegende Bänder, wobei ihre Elemente durch manche, oft unregelmässige Zwischenformen aus der längsgestreckten in die quergestreckte Gestalt übergehen. Hierbei auch erst werden, wie Kny's Beschrei-

1) l. c. p. 217.
2) l. c. p. 221.
3) l. c. p. 219.

bung und Abbildung [1]) ebenfalls schon zu entnehmen ist, die zahlreicheren kleinen, halbbehöften Tüpfel, durch welche diese Markstrahlzellen mit jeder Strangtracheïde communiciren, durch den charakteristischen einen, grossen Tüpfel ersetzt. Die tracheïdalen Elemente werden weiterhin entweder den Rändern der Markstrahlen aufgesetzt, oder es gehen lebendige Markstrahl-Zellreihen in tracheïdale über. Mit Kny kann ich bestätigen, dass an den Ursprungsorten einzelne lebendige Markstrahl-Zellreihen, die tracheïdalen Charakter bereits angenommen haben, wieder in lebendige Zellen sich fortsetzen können; dann ist eben anzunehmen, dass das Bedürfniss nach Erleichterung des radialen Wasseraustausches an der betreffenden Stelle wieder schwächer geworden sei. — Wie bei Pinus silvestris verhält sich im Wesentlichen auch der Ansatz der ersten secundären Markstrahlen anderer Coniferen, indem dort auch diese Markstrahlen an das Vasalparenchym der primären Gefässtheile anknüpfen. Alle weiter hinzukommenden secundären Markstrahlen setzen zum Theil an Holzparenchym, zum Theil an Tracheïden an. Mit der Art dieses Ansatzes hat sich neuerdings Erich Schmidt befasst [2]). Bei den mit Harzgängen versehenen Coniferen bildet das den Harzgang umgebende Parenchym sehr häufig den Ausgangspunkt. Wo Markstrahlen an Tracheïden ansetzen, zeigt sich die Gestalt der letzteren vielfach etwas verändert. Häufig sieht man Tracheïden stumpf mit ihren Enden unter einem Markstrahl abschliessen, was mit Recht Erich Schmidt darauf zurückführt, dass im Cambium das Ende einer Initialzelle, die bis dahin Tracheïden producirte, durch eine Querwand abgeschnitten wurde, um Markstrahlinitialen zu erzeugen. Wenig regelmässige Zellformen leiten meist die Bildung des neuen Markstrahls ein [3]), bis dass er sich den richtigen Raum geschaffen und ein entsprechendes Gleichgewicht in der Ge-

---

1) Ebendas. Fig. 7.

2) Ein Beitrag zur Kenntniss der secundären Markstrahlen. Inaug.-Diss. Freiburg i. B. 1890.

3) Dieses schon von Velten für Taxus angegeben: Ueber die Entwicklung des Cambiums und N. J. C. Müller's Ideen über diesen Gegenstand, Bot. Ztg. 1875, Sp. 842; für andere Coniferen von Erich Schmidt, l. c. p. 25.

webebildung hergestellt ist. Dass die Einschaltung eines neuen Markstrahls die Bildung von Tangentialtüpfeln zwischen den angrenzenden Tracheïden veranlassen kann, wurde schon früher erwähnt.

Während bei Pinus silvestris tracheïdale Markstrahlelemente bereits in ein- bis zweijährigen Trieben sich zeigen, treten sie nach Kleeberg [1]) bei Picea excelsa erst im zweiten Jahresringe auf. Bei Pinus excelsa und Cedrus atlantica sind sie erst im dritten oder vierten Jahreszuwachs zu beobachten. Bei Pseudotsuga Douglasi und Larix pendula wird ihr Auftreten bis ins vierte oder fünfte Jahr hinausgeschoben, während sich Larix europaea, ganz wie Pinus silvestris, meist schon im ersten Jahre mit tracheïdalen Markstrahlelementen versorgt. — Ganz richtig beobachtete Kny [2]), dass im Holze von Pinus silvestris überall dort, wo ein Markstrahl das zartwandige, einen Harzgang unmittelbar umgebende Holzparenchym streift, seine tracheïdalen Zellen durch lebendige ersetzt werden, was eine Unterbrechung der tracheïdalen Wasserleitung an diesem Markstrahl zur Folge haben muss.

Kleeberg [3]) unterscheidet bei den Kiefern, welche tracheïdale Elemente im Markstrahl besitzen, auch zwei „Unterformen“ lebendiger Markstrahlzellen. Diese beiden Formen sollen dadurch von einander verschieden sein, dass die eine dünnwandig und stets ohne einfache Tüpfel sei, die andere verdickte Wände und einfache Tüpfel besitze. Die erste Form halte sich meist an die mittleren Theile, die andere vorwiegend an die Ränder des Markstrahls. Für Pinus silvestris giebt Kleeberg im Besonderen an, dass dort die tüpfelfreie und die getüpfelte Zellform annähernd in gleicher Menge vertreten sei [4]); das Verhältniss beider schwanke aber von Species zu Species. Die Strangtracheïden sollen aber diesen beiden Formen lebendiger Markstrahlzellen mit gleichen behöften Tüpfeln anliegen. Ich kann für Pinus silvestris, wie für die anderen von Kleeberg angeführten Kiefern, das Vorhandensein dickwandigerer

---

1) Das Markstrahlgewebe der Coniferen, Bot. Ztg. 1885, Sp. 685.

2) l. c. p. 222.

3) l. c. Sp. 696.

4) Ebendas. Sp. 706.

und dünnwandigerer lebendiger Zellen im Markstrahl bestätigen, der Unterschied zwischen denselben ist aber nur ein gradueller und gehen sie überall in einander über. Der Umstand, dass in der dünnwandigeren Form die Tüpfel schliesslich nicht mehr zu erkennen sind, hängt eben nur mit dem Ausbleiben einer merklichen Wandverdickung zusammen. Der Grad der Verdickung richtet sich aber augenscheinlich nach den mechanischen Bedürfnissen der Festigkeit, wobei dem Markstrahlrande nähere, stärker verdickte Elemente den Schutz der dünnwandigeren, mittleren übernehmen können. Eine Verschiedenheit in dem Inhalt der dickwandigeren und der dünnwandigeren lebendigen Markstrahlelemente ist nicht zu erkennen und also auch ein Unterschied in den Functionen beider nicht anzunehmen. An den Stellen, wo ein Markstrahl das dünnwandige Holzparenchym streift, das unmittelbar einen Harzgang umgiebt, werden alle seine lebendigen Markstrahlelemente dünnwandig, ganz ebenso, wie wir dies zuvor schon für die tracheïdalen Elemente constatirt haben. Der Markstrahl ist somit an solcher Stelle nur aus völlig gleichartigen, dünnwandigen Elementen aufgebaut.

Für die Markstrahlen von Pinus canariensis und Pinus sabiniana hebt Paul Schulz hervor [1]), dass sie die tracheïdalen Elemente in der Mitte führen, während ihnen solche an den Rändern abgehen. Bei Pinus canariensis kommt eine solche Vertheilung der Elemente des Markstrahls in der That vor, wenn auch nicht eben sehr häufig, wie der Vergleich der Combinationen lehrt, die ich für eben diese Kiefer auf Seite 14 zusammengestellt habe. Jedenfalls liegt hier nicht irgend ein principieller Unterschied im Aufbau der Markstrahlen gegen andere Kiefern, etwa Pinus silvestris, vor. — Tangentialtüpfel waren bei Pinus canariensis in dem von mir untersuchten Astholze nur spärlich vertreten und klein.

Pinus rigida Mill. hat einen sehr gut entwickelten, vielfach doppelten tracheïdalen Saum an ihren Markstrahlen aufzuweisen. In der tangentialen Tüpfelung stimmt sie mit Pinus canariensis überein.

---

1) l. c. p. 217.

Ebenso weist Pinus Laricio Poir. einen gut entwickelten tracheïdalen Saum fast an jedem Markstrahlrande auf. Der von mir untersuchte Ast besass trotzdem zahlreiche, wenn auch nicht eben grosse Tangentialtüpfel an den Jahresgrenzen. Die Jahresringe waren freilich in diesem Zweige nur schwach entwickelt, und ich erwähnte schon, dass an einzelnen Stellen, mit besonders schmalen Jahresringen, die tangentiale Tüpfelung sich sogar durch deren ganze Dicke, die Frühholztracheïden mit inbegriffen, fortsetzte.

Wie schon erwähnt wurde, fehlten den meisten Markstrahlen des von mir untersuchten Holzes von Pinus excelsa Wall. die tracheïdalen Elemente. Meine Untersuchung erstreckte sich über Schaft- und Astholz von demselben Baume. Die Tangentialtüpfel reichten hingegen bis zur sechsten Wand von aussen in die Jahresringe hinein, waren relativ zahlreich und hatten eine im Verhältniss bedeutende Grösse aufzuweisen.

Bei Pinus Strobus fand ich das verschiedenen Bäumen entstammende Schaft- und Astholz gleich reich an tangentialen Tüpfeln, das Schaftholz zugleich auch reich an tracheïdalen Markstrahlsäumen, während solche dem Astholz, welches aber, wie schon gesagt, einem anderen Stamme entnommen war, nur spärlich zukamen. Schaft- und Astholz zeigten nur schwache Spätholzbildung; in dem Astholze war dieselbe, selbst bei starker Ausbildung des Jahresringes, auf nur zwei bis drei Zellschichten beschränkt. Das Holz von Pinus Strobus ist überhaupt weitlumig, schwach verdickt und dem entsprechend leicht. R. Hartig [1]) giebt an, dass das Holz von Pinus Strobus, selbst aus der Mitte ca. 40-jähriger Stämme, so wenig verholzt sei, dass es bei Benetzung mit Chlorzinkjod sich sofort blau färbt. Auch ich konnte an dem von mir untersuchten Holze Blaufärbung mit Chlorzinkjod, wenn auch meist erst nach längerer Einwirkung und in nicht immer gleich vollkommener Weise, erzielen.

Von der Fichte habe ich Schaft- und Astholz von einem 60-jährigen Exemplar, ausserdem 30-jähriges Astholz von einem anderen Baume untersucht. In dem Schaftholze des

---

1) Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, II, p. 46.

60-jährigen Exemplars liefen die tracheïdalen Elemente fast ununterbrochen an den Markstrahlrändern fort; in dem Astholze der beiden Bäume hingegen erschienen die tracheïdalen Säume vielfach durch lebendige Elemente unterbrochen. Die Art der Unterbrechung ist die, dass in dem tracheïdalen Saum einzelne, auch wohl mehrere hinter einander liegende, lebendige Markstrahlzellen, die sich ganz ebenso wie die anderen lebendigen Elemente des Markstrahls verhalten, eingeschaltet werden. Häufiger als an anderen Stellen traf ich diese lebendigen Elemente an der Grenze von Spätholz und Frühholz, was mit dem Vorhandensein der zahlreichen Tangentialtüpfel an eben jener Grenze in Zusammenhang stehen dürfte, welche eine radiale Wasserverbindung am Markstrahl entbehrlich macht. Die in den tracheïdalen Markstrahlsaum eingeschalteten, dem Typus der lebendigen Markstrahlzellen zugehörigen Elemente können auch stellenweise entleert sein, wobei man aber die Zellhäute, durch ihre einfache Tüpfelung, von den benachbarten tracheïdalen Elementen zu unterscheiden vermag. Im Holze des von mir untersuchten Schaftes waren die eingeschalteten lebendigen Markstrahlzellen in dem Tracheïdensaume der Markstrahlen ebenfalls zu finden, doch musste oft lange nach denselben gesucht werden. Im Schaftholz wie im Astholz, das mir zur Beobachtung vorlag, zeigten sich fast alle Markstrahlen mit tracheïdalem Saume versehen; unter Umständen konnte dieser Saum aber auch an einer Seite oder an beiden Seiten eines Markstrahls fehlen. Der Saum tritt nicht selten verdoppelt auf, auch kommen nur aus tracheïdalen Elementen bestehende Markstrahlen vor. Die tracheïdalen Elemente des Markstrahls bieten fast dieselbe Höhe wie die lebendigen dar und sind im Schaftholz annähernd gleichmässig entwickelt, im Astholz, das viel engere Jahresringe besitzt, vielfach in mittlerer Länge unregelmässig angeschwollen. Was die lebendigen Markstrahlelemente anbetrifft, so zeigen sich in höheren Markstrahlen die mittleren Reihen derselben oft schwächer als die den Rändern näheren verdickt; ihre Tüpfelung ist alsdann entsprechend flacher. Eine neue tracheïdale Reihe kann einem Markstrahlrande plötzlich aufgesetzt werden, sie beginnt meist mit geringer Höhenentwicklung, um alsbald zu normaler Höhe anzuwachsen. Auch setzt sich eine lebendige Zellreihe gelegent-

lich dauernd in eine tracheïdale fort, während ich ein umgekehrtes Verhalten kaum beobachtet habe.

Im Schaftholz der Lärche (Larix europaea) fand ich die tracheïdalen Elemente in ununterbrochener Reihe annähernd an allen Markstrahlen entwickelt. Sie bilden an denselben fast stets nur eine einfache Reihe; auch an den höchsten Markstrahlen sind sie selten doppelt, und kommen Einschaltungen derselben in das Innere des Markstrahls nicht vor. Die Gestalt der tracheïdalen Markstrahlelemente ist oft etwas unregelmässig, nicht selten erscheinen sie in der Mitte höher als an den Enden. Oefters lassen sich bei Larix auch zweischichtige Markstrahlen ohne Harzgang beobachten, die meisten mehr als einschichtigen Markstrahlen sind aber mit einem Harzgang versehen. Ein alter, annähernd hundertjähriger Stamm, der vor einigen Jahren im hiesigen botanischen Garten gefällt werden musste, weil er abständig geworden war, zeigte seine letzten 14 Jahresringe nur äusserst schwach entwickelt. Merkwürdig war in diesen schwachen Jahresringen die sehr grosse Weite der Frühtracheïden, die fast sämmtlich doppelte Reihen von Hoftüpfeln trugen, und der jähe Uebergang von denselben, fast ohne alle Mittelstufen, zu den auf wenige Zellreihen beschränkten, sehr schmalen, fast doppelt so stark verdickten Spättracheïden. Diese Erscheinung ist bei der Lärche sehr häufig und wird von Nördlinger sogar unter die Merkmale des Lärchenholzes aufgenommen: „Frühlingsholz von Herbstholz häufig auffallend geschieden“ [1]). Ich fand einen solchen plötzlichen Uebergang vom Frühlings- zum Herbstholz auch im Schaftholz eines ca. 48-jährigen, durchaus gesunden Baumes, der relativ breite Jahresringe aufzuweisen hatte. Hier zeigten einzelne Jahresringe diese scharfe Sonderung, andere wieder nicht. In allen Jahrgängen ist der Uebergang allmählich in dem Querschnitte, den ich, in dem mir zu Gebote stehenden Exemplare von Nördlinger's Publication: Fünfzig Querschnitte der in Deutschland wachsenden hauptsächlichsten Bau-, Werk- und Brennhölzer, finde. So auch erfolgte der Uebergang nur allmählich in den inneren, stärkeren Jahresringen des zuerst angeführten ca. 100jährigen Stammes und auch in einem ca.

---

1) Fünfzig Querschnitte der in Deutschland wachsenden hauptsächlichsten Bau-, Werk- und Brennhölzer, 1858. Vergl. den Text p. 12.

70-jährigen kräftigen Stamme unseres botanischen Gartens. Auffallen musste es mir, dass auch in den schmalen Jahresringen des ca. 100-jährigen Stammes, wo der Unterschied von Früh- und Spättracheïden sich so stark ausgeprägt zeigte, die Markstrahlen von diesem Wechsel unbeeinflusst blieben. Sie waren nicht stärker verdickt dort, wo sie den Spättracheïden, als wie dort, wo sie den Frühtracheïden anlagen, nur an den ersteren etwas kürzer und unter Umständen auch höher. Ein anderes auffallendes Verhalten bot mir ein junger, ca. 20-jähriger, sehr kräftiger, bis auf den Grund beästeter Stamm in unserem botanischen Garten, dessen Schaft ich, in 1 m Höhe, mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer einen Span entnahm. Es schien nämlich auf den ersten Blick, als wenn in dem Holze dieses Schaftes sehr starke mit sehr schwachen Jahresringen abgewechselt hätten. Bei näherer Untersuchung konnte man hingegen feststellen, dass es sich um sehr starke Jahresringe handle, in welchen der Wechsel von dünnwandigen weiteren und dickwandigen engeren Tracheïden sich zwei Mal im Jahre vollzog. Diese Verdoppelung der Jahresringe war in dem 2., 3., 4., 5. und 6. Jahresring, von aussen gerechnet, zu constatiren. Der 7. Jahresring, von aussen, der weiteste von allen, der für sich allein 1,2 cm Dicke maass, zeigte hingegen diese Verdoppelung nicht. In den doppelten Jahresringen gingen die Frühtracheïden zunächst in Spättracheïden über, dann diese annähernd in gleicher, nur umgekehrter Weise, in weiter und dünner werdende Tracheïden vom Aussehen des Frühholzes, dann diese wieder, wie zuvor, in Spätholz. An der wirklichen Jahresgrenze allein setzten die Frühtracheïden scharf gegen die letztjährigen Spättracheïden ab. Dass es sich in diesem Holze nicht zwischendurch um undeutliche Grenzen von aufeinanderfolgenden Jahresringen, sondern um Doppelbildungen je eines Jahres handelte, zeigte, bei sehr gleichmässigem Wachsthum dieses Stammes, der Vergleich der Doppelringe mit den vorausgehenden Jahresringen und dem äussersten Jahresringe. Eine ähnliche Verdoppelung einzelner Jahresringe war in einem von diesem Lärchenstamme abgesägten Aste zu constatiren. Solche Jahresringverdoppelungen sind von früher her bekannt; dieselben wurden zuletzt von Kny [1]) studirt und die älteren Angaben über dieselben

---

1) Ueber die Verdoppelung des Jahresringes, Verhandlungen des bot. Vereins der Provinz Brandenburg, 1879.

zusammengestellt. Auf die Ursachen dieser Erscheinung kommen wir später zurück.

Im Holze von Cedrus Libani, das zwei verschiedenen, 8 bez. 5 cm dicken Aesten eines im hiesigen Garten befindlichen Baumes entstammte, fand ich überhaupt keine tracheïdalen Elemente an den Markstrahlen vor. Ebenso fehlten dieselben an einer kleinen Holztafel von Cedrus Libani, die sich in der hiesigen Sammlung befindet. Die Untersuchung des Holzes aus dem Schafte eines 37-jährigen, 56 cm dicken Stammes, den der Sturm vor einer Anzahl von Jahren in unseren Garten geworfen hatte, und der direct neben dem noch lebenden Exemplare stand, zeigte hingegen ziemlich zahlreiche tracheïdale Markstrahlzellen. Dieselben bilden freilich auch hier nur kurze Reihen, sind auch wohl ganz vereinzelt, und wo sie zu einer Reihe verbunden, da hängen sie oft mit stark verjüngten Enden zusammen. Der Wunsch, zu constatiren, ob auch der Schaft der noch stehenden Ceder in unserem Garten sich entsprechend verhalte und somit von dem Bau seiner Aeste in diesem Punkte abweiche, veranlasste mich, diesem Schafte einen Span mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer zu entnehmen. Es stellte sich heraus, dass auch dieses Schaftholz tracheïdale Elemente an den Markstrahlen führte, ja die entnommene Probe sogar reicher an denselben war, als das Holz aus dem Schafte des gestürzten Baumes. — Noch reicher an Markstrahltracheïden als der Schaft der Libanon-Ceder, bei sonst entsprechender Vertheilung und Gestalt der Elemente, zeigte sich das Holz von Cedrus atlantica Man. var. argentea, das ich durch gütige Vermittlung von Dr. D. Brandis aus Kew erhielt. Hingegen waren wiederum an dem Abschnitte eines starken Stammes von Cedrus Libani aus Kew nur ganz vereinzelte tracheïdale Markstrahlelemente nachzuweisen [1]). — In einem 14-jährigen Zweige von Cedrus Libani fand Kleeberg [2]) kein einziges tracheïdales Element, wohl aber fand er solche im Stammholze zwischen dem 10.

---

1) Der erste Holzabschnitt in Gestalt eines kleinen Brettchens trägt die Aufschrift: „Cedre“ Cedrus atlantica Man. var. argentea, Algeria. From specimen in Museum presented by Prince (Jérome) Napoleon. Das zweite Holzstück, ein dünner Stammabschnitt: Cedar of Libanon, Cedrus Libani Lond. Mount Libanon. Sir J. D. Hooker 1860.

2) Bot. Ztg. 1885, Sp. 685.

und 18. Jahresringe, und zwar, wie er angiebt, als isolirte zwischen lebendigen Markstrahlzellen eingebettete Zellen in der die Markstrahlen nach oben und unten begrenzenden Zellreihe. Eine Zunahme an Markstrahltracheïden war auch bis zum 31. Jahresringe nicht zu constatiren, dagegen soll ein altes, verkientes Cedernbrett tracheïdale Markstrahlelemente in fortlaufenden Reihen gezeigt haben. Gingen dem von mir untersuchten Astholz der Libanon-Ceder die tracheïdalen Elemente an den Markstrahlen ab, so waren andererseits letztere öfters an ihrem Rande mit einzelnen oder zu kurzen Reihen verbundenen, meist unregelmässig gestalteten Zellen besetzt, welche sich durch ihren Inhalt, oder, falls dieser bereits fehlte, durch die Art ihrer Tüpfelung als dem Typus der lebendigen Markstrahlzellen angehörend, zu erkennen gaben. Diese Zellen sind zunächst mit einem lebendigen Plasmaleib ausgestattet, den die meisten aber bald verlieren; andererseits werden einzelne derselben gleich am Cambium dicht angefüllt mit Krystallen von Calciumoxalat. Die Zahl dieser dem Markstrahl aufgesetzten Zellen war in den beiden von mir untersuchten Aesten verschieden, wie denn auch beide, wie schon früher erwähnt, in den Mengen des eingeschalteten Holzparenchyms von einander abwichen.

Alle diese Einzelheiten sollen aber dazu dienen, uns zu zeigen, innerhalb welcher Grenzen der Bau des Holzes variiren, wie weit somit seine Anpassungsfähigkeit an die gegebenen Bedingungen reichen kann.

Wie das Schaftholz der von mir untersuchten Libanon-Ceder verhielt sich auch das mir zur Verfügung stehende Schaftholz von Cedrus Deodara und Schaft- und Astholz von Tsuga canadensis. Ob zwischen Schaft- und Astholz von Cedrus Deodara ähnliche Unterschiede wie zwischen Schaft- und Astholz von Cedrus Libani bestehen, muss ich dahingestellt lassen. Aus einer solchen Verschiedenheit würde es sich aber vielleicht erklären, dass Kraus [1]) Cedrus Deodara zu den Coniferen mit gleichartigen Markstrahlen stellt. An dem von mir untersuchten Deodara-Cederholze waren die tracheïdalen Markstrahlelemente in relativ nur geringer Zahl, vereinzelt oder in Reihen zu beobachten, stellenweise konnte deren Reihe sich auch verdoppeln. Meist

1) Würzb. naturwiss. Zeitschr. 1864, p. 173.

sehr niedrig, erreichten einzelne derselben selbst grössere Höhe als die lebendigen Elemente.

Im Holzkörper von Tsuga canadensis war es mir nur an einer beschränkten Anzahl von Markstrahlen möglich, die tracheïdalen Elemente zu finden. Auch wo dieselben vorhanden waren, traten sie nur isolirt oder doch in kurzen Reihen auf und zeigten sie auch nur geringe Höhe.

Widersprüche in den Angaben, die sich bei den Cedern aus der wirklichen Verschiedenheit des Verhaltens von Stamm- und Astholz erklären lassen, scheinen hingegen auf Täuschung zu beruhen, soweit es sich um die Edeltanne (Abies pectinata) handelt [1]). Die leeren Zellen nämlich, die hier hin und wieder fortlaufend, meist aber isolirt, dem Rande der Markstrahlen aufgesetzt erscheinen, sind nicht tracheïdal, sie zeigen vielmehr den nämlichen Wandbau wie die lebendigen Markstrahlzellen. Es sind Markstrahlzellen wie die anderen, die durch einseitig behöfte Tüpfel mit den Strangtracheïden communiciren, die aber ihren lebendigen Zellleib eingebüsst haben. Man findet sie meist, so wie aus unserer Fig. 17, Taf. I ersichtlich, an der Grenze von Spät- und Frühholz. Schon im Laufe des ersten Jahres treten sie ausser Function, so dass man an der Grenze des vorletzten Jahresringes meist nur noch ihre leeren Häute findet. Trotzdem sie dem System der lebendigen Markstrahlzellen angehören, erfahren diese aufgesetzten Markstrahlzellen oft eine unregelmässige Gestaltung, erscheinen in der Mitte angeschwollen, an den Enden verjüngt. Eine solche Gestalt erhöht, nach erfolgter Entleerung, ihre Aehnlichkeit mit tracheïdalen Elementen und mag ihre Deutung als solche mit verschuldet haben. Ausnahmsweise findet man in diesen aufgesetzten Zellen einzelne Krystalle von Calciumoxalat. Hin und wieder beobachtet man auch bei der Edeltanne, dass eine ganze Zellreihe, sonst in nichts von den übrigen verschieden, am Rande eines Markstrahls ausser Function gesetzt worden ist, und nur noch aus leeren Zellhäuten besteht. Die Ursache aller dieser Erscheinungen lässt sich erst im Cambium klarlegen. Alle diese ausser Func-

---

1) So finden G. Kraus, l. c. p. 173, und Kleeberg, l. c. Sp. 724, übereinstimmend mit mir, die Edeltanne ohne tracheïdale Markstrahlelemente, während Paul Schulz l. c. p. 220 ihr solche zuspricht.

tion gesetzten, unterbrochenen oder ununterbrochenen Zellreihen gehen nämlich im Baste in eiweissleitende, stärkefreie Markstrahlzellen über, die, wie später gezeigt werden soll, eine bestimmte Aufgabe nur im Baste zu vollziehen haben. Dieselbe Ursache wie bei der Edeltanne hat die Bildung der unterbrochenen Zellreihen an den Markstrahlrändern des Cedernholzes. Auch entsprechen diese unterbrochenen Markstrahl-Zellreihen im Holz der Edeltanne und Ceder ähnlichen Bildungen, deren wir bereits im Holze der Pinus-Arten erwähnten. Unschwer findet man auch den Pinus-Arten ähnliche, entsprechend gedehnte, ein- bis zweistöckige Markstrahlen im Holze der Fichte, und die Figur 14, Taf. I, führt uns das innere Ende eines solchen Markstrahls aus dem Astholze vor. Das abgebildete Stück läuft über enge mit deutlicher Spiralstreifung versehene Spättracheïden. Es wird gebildet von tracheïdalen Markstrahlelementen, welche namentlich an ihrem inneren Ende eine sehr starke Dehnung erfahren haben und eigenthümliche, nagelförmige Gestalten aufweisen. Sie hängen nur an ganz schmalen Stellen zusammen, die einen Hoftüpfel aufzuweisen haben. An der Grenze des Spätholzes setzt an das letzte tracheïdale Element, mit breiter Basis, die leere Hülle einer einfach getüpfelten Markstrahlzelle, die somit nach dem Typus der lebendigen Markstrahlzellen gebaut war, an; dann folgt eine ebensolche Zelle. Der nicht weiter abgebildete Theil dieses Markstrahls war zunächst aus entleerten, einfach getüpfelten, weiterhin wieder aus tracheïdalen Elementen aufgebaut und liess sich so bis in die Gegend des Cambiums verfolgen, wo er schliesslich aus lebendigen Zellen bestand. An mehreren Stellen waren, innerhalb des aus todten Zellen bestehenden Theiles, vollständige Unterbrechungen des Zusammenhanges nachzuweisen, und hiermit musste auch für alle markwärts von der ersten Unterbrechung gelegenen Theile die Unmöglichkeit einer geradlinigen Nahrungszufuhr eintreten, die ihr baldiges Absterben, auch soweit sie in die Kategorie der lebendigen Markstrahlzellen gehörten, zur Folge hatte. — Noch leichter als bei der Kiefer findet man die beschriebenen entsprechenden Markstrahlen bei Taxodium distichum vor; ja das Holz jener Coniferen wäre ganz besonders für das Studium derartiger Markstrahlen zu empfehlen. Unser Bild 23, Taf. II, führt, aus dem Stammholze von Taxodium, einen solchen Markstrahl, der kürz-

lich erst eingeschaltet wurde, in seiner ganzen Ausdehnung vor. Derselbe zeigt sich, wie es ja für Taxodium auch gar nicht anders möglich ist, nur aus solchen Markstrahlzellen die dem Typus der lebendigen Markstrahlzellen angehören, aufgebaut. Nachdem die ersten drei Elemente dieses Markstrahls nach der Holzseite abgegeben worden waren, fand bereits eine Unterbrechung der Continuität statt, und die drei abgetrennten Elemente zeigen sich auch bereits todt und entleert. An dem ersten Element ist die Tüpfelung undeutlich, als wenn eine theilweise Resorption der Wandung erfolgt wäre. Die noch im Zusammenhang befindlichen Elemente an der Cambiumseite führen lebendigen Inhalt, doch hängt das vorletzte mit dem letzten, markwärts gelegenen, nur durch eine sehr schmale Membranstelle zusammen. Hervorgehoben muss hierbei noch werden, dass nicht etwa alle einreihigen Markstrahlen des Holzkörpers in die Kategorie der hier beschriebenen gehören, und dass beispielsweise das von mir untersuchte Astholz von Cryptomeria japonica fast überhaupt nur einreihige Markstrahlen führte.

Auf die nur aus einer Art Elementen aufgebauten Coniferen-Markstrahlen, die keine weitere äussere Differenzirung und innere Arbeitstheilung zeigen, will ich nicht weiter eingehen.

Auf tangentialen Längsschnitten durch das Holz der Coniferen kann man leicht feststellen, dass fast jede Strangtracheïde mit den lebendigen Markstrahlzellen in Berührung kommt. J. M. Janse giebt auf Grund seiner speciell auf diesen Punkt gerichteten Untersuchungen an[1]), „dass Tracheïden, welche nicht von einem Markstrahl berührt werden, zwar vorkommen, jedoch sehr selten sind (etwa 1 %)“, und dass die Zahl der Markstrahlen, welche an ein und dieselbe Tracheïde grenzen, von 1—6 variirt. Ebenso trifft die Angabe von Janse zu, dass die mit den radialen Seitenwänden einander berührenden Strangtracheïden in verschiedener Höhe stehen. In radialer Richtung hingegen folgen die Strangtracheïden in gleicher Höhe auf einander, was ja auch unmittelbar aus ihrem gemeinsamen Ursprung aus derselben Cambiumzelle folgt. Um die ungleiche

1) Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 49.

Höhe in der Vertheilung der tangential an einander stossenden Tracheïden zu ermöglichen, ist andererseits eine entsprechende Anordnung der Cambiumzellen nothwendig, wie sich denn auch aus der Betrachtung eines jeden tangentialen Längsschnittes ergiebt.

Ganz allgemein liess sich für alle die von mir untersuchten Coniferen die bereits bekannte[1]) Thatsache constatiren, dass die Zahl der Hoftüpfel an den sich verjüngenden Enden der Strangtracheïden, mit welchen dieselben in der Längsrichtung an einander schliessen, besonders gross ist. Ebenso war überall eine bedeutende Abnahme der Hoftüpfel in dem Spätholze festzustellen, wobei, vielfach mit dem Augenblicke, wo die Spätholztracheïden zu schmal wurden, um Hoftüpfel an den Radialwänden zu tragen, solche an den Tangentialwänden sich einzustellen pflegten. Vorwiegend ist es aber erst die letzte Tangentialwand des Spätholzes, die mit Hoftüpfeln versehen wird. — Auf Radialschnitten durch jedes beliebige Coniferenholz sind locale Verschiedenheiten in Zahl und Vertheilung der Hoftüpfel an den Spättracheïden zu constatiren, so dass sich auch bei dieser Untersuchung die Vorstellung aufdrängt, dass locale Bedürfnisse, wie sie aus dem Zusammenwirken aller entscheidenden Factoren für jeden einzelnen Ort sich ergeben, für dessen Ausgestaltung maassgebend werden. Aus der Bevorzugung der Endflächen der Strangtracheïden in der Hoftüpfelung geht anatomisch unzweifelhaft hervor, dass die Holztracheïden vornehmlich in der Längsrichtung zu leiten haben. In den äusseren Jahresringen der gemeinen Kiefer, wo die Strangtracheïden sehr lang werden, steigert sich, wie schon Sanio[2]) angiebt, die Verschiedenheit zwischen der Tüpfelung der Endflächen und der Seitenwände so bedeutend, dass man auf letzteren streckenweise gar keine Tüpfel findet.

In dem Splintholze der Coniferen, wenn dasselbe frisch oder als Alcohol-Material untersucht wird, sind, wie besonders Russow nachgewiesen hat[3]), die Schliesshäute der Hoftüpfel

1) Vergl. vor allem Sanio, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX, p. 87.

2) Ebendas.

3) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 61; vergl. auch Kny, Bot. Wandtafeln, Text p. 198.

im Hofraum frei ausgespannt oder der Hofwandung nur locker angeschmiegt, ohne festen Zusammenhang mit derselben; im luftrockenen Splintholze hingegen und im Kernholze zeigt sich die Schliesshaut in den Hoftüpfeln der Frühtracheïden der Hofwandung fest angedrückt, ihr Torus in die Kanalmündung sogar hinein gekrümmt, mit derselben meist wie „verlöthet“ [1]). In den Spättracheïden des Kernholzes und ebenso auch in den Hoftüpfeln aller tracheïdalen Markstrahlelemente fand ich, ganz wie Russow [2]), die Schliesshaut straff ausgespannt. Ebenso verhalten sich, wie ich hinzufügen kann, die Schliesshäute aller Tangentialtüpfel.

Die Art und Weise hier zu schildern, wie der Zuwachs des Holzkörpers vom Cambium aus bei Coniferen besorgt wird, halte ich, nach Klarlegung dieser Verhältnisse durch Sanio [3]), für überflüssig. Von Interesse ist es für uns nur, in Hinblick auf die ins Auge gefassten Aufgaben, hervorzuheben, dass die Fertigstellung der tracheïdalen Markstrahlzellen, wo solche angelegt werden, derjenigen der Strangtracheïden nicht unwesentlich vorauseilt. Auf diese Thatsache hat Russow bereits hingewiesen [4]) und zugleich betont, wie die Hofräume in der Strangtracheïde wesentlich später als die zugehörigen Hofräume in den tracheïdalen Markstrahlzellen ausgebildet werden. Es kommt eben darauf an, möglichst bald die directen radialen Wasserbahnen herzustellen, die nach dem Cambium und der Rinde zu führen. Im Gegensatz zu den tracheïdalen Markstrahlelementen eilen die lebendig bleibenden der Entwicklung der Strangtracheïden nicht voraus.

Als Anpassungsfähigkeit an ein local sich einstellendes Bedürfniss darf wohl auch die Bildung radial gerichteter Balken in radialen Zügen von Strangtracheïden, wie sie öfters bei Coniferen zu beobachten ist, angesehen werden. Solche Balken

---

1) Russow, l. c. p. 61.
2) Ebendas. p. 63.
3) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX, p. 60.
4) 134. Sitzung der Dorp. Naturf. Gesellch. 24. Sept. 1881. Sep.-Abdr. aus der Dörptschen Zeitung, 1881, p. 15; auch Bot. Centralbl., Bd. X, p. 69.

sind übrigens dem Coniferen-Holz nicht ausschliesslich eigen. Sie finden sich auch in der ähnlich gebauten Drimys Winteri, wo sie de Bary zuerst gesehen hat [1]), und nach Sanio auch in dem ganz abweichend gebauten Holze von Hippophaë rhamnoides [2]). Bei der Kiefer hat sie Sanio aus dem Holz sogar durch das Cambium in den Bast hinein verfolgen können [3]). Auch Kny schildert und bildet solche Querbalken für Pinus silvestris ab [4]), wo er sie, in genau radialer Richtung, sich oft durch mehrere Jahrgänge fortsetzen sah. Es sind das meist freie Balken von rundlichem Querschnitt, welche von der einen Wand der Zelle zur andern reichen, sich in gleichem Abstand von den radialen Seitenwänden haltend. Die Membranen der Zellen, in welchen die radialen Balken vorhanden waren, schienen Kny einer Aussteifung in radialer Richtung nicht bedürftiger zu sein, als die Nachbarinnen, weshalb Kny eine Vermuthung über die Bedeutung dieser Balken nicht auszusprechen vermag. Mir sind nun ganz ebensolche Balken bei fast allen untersuchten Abietineen entgegengetreten, dann auch bei Juniperus communis, Thuya occidentalis und Cryptomeria japonica, so dass ich annehmen darf, dass sie bei allen Coniferen erzeugt werden können. Ich muss zugeben, dass es oft nicht möglich ist zu entdecken, warum gerade an der betreffenden Stelle die Einfügung solcher Balken nothwendig wurde, immerhin meine ich, dass sich kaum daran zweifeln lässt, dass mechanische Momente deren Einschaltung bedingten. Es wird experimentell zu prüfen sein, ob nicht veränderter Druck von aussen die Bildung solcher Balken anregen kann. — Als Querversteifungen sind allgemein die Leisten anerkannt, mit welchen die tracheïdalen Markstrahlelemente der meisten Pinus-Arten ausgerüstet sind und welche sich als zackige Vorsprünge auf radialen Längsschnitten darstellen. Ausser diesen Querversteifungen werden aber bei einer Anzahl von Pinus-Arten, deren lebendige Markstrahlzellen nur durch einen grossen Porus mit den Strangtracheïden communiciren, in diesen Strangtracheïden nach Bedürfniss noch andere Querversteifungen angebracht, auf welche

1) Vergl. Anat., p. 495.
2) Bot. Ztg. 1863, p. 117.
3) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX, p. 59, und Taf. VI, Fig. 1.
4) Wandtafeln, Text p. 199 und 200; auf letzterer Fig. 4.

neuerdings von Paul Schulz [1]) hingewiesen wurde. Diese Querversteifungen haben die Gestalt von Doppel-T-Trägern und bestehen aus einem Mittelstück, das beiderseits mit einer Scheibe abschliesst. Paul Schulz fand diese Vorrichtungen nicht bei Pinus silvestris, Pinus Ayacahuite und Pinus Laricio, besonders kräftig hingegen entwickelt bei Pinus nigra, Pinus Pinea und Pinus Pumilio. Diese Querversteifungen finden sich ausschliesslich in solchen Holztracheïden vor, die an Markstrahlen grenzen, als wenn dem lebendigen Drucke der letzteren dadurch entgegengewirkt werden sollte. Die Doppelträger sind über einander in den Tracheïden angebracht, sie zeigen sich meistens senkrecht zum Markstrahl oder auch schief zu demselben orientirt; gelegentlich laufen sie sogar mit ihm parallel. Sie weichen dabei stets den Porenwandungen aus, was manchmal nur mit Zuhilfenahme einer Gabelung möglich ist. Ihre Dicke kann den doppelten Durchmesser der Tracheïdenwand erreichen. Häufig sind übrigens diese Querversteifungen in den Strangtracheïden nicht, und wollte es beispielsweise Kleeberg [2]) nicht gelingen, dieselben zur Anschauung zu bringen.

Alle die bisher von mir gemachten Angaben über den Bau der einzelnen Bestandtheile des Holzkörpers der Coniferen gelten, soweit meine Erfahrungen reichen, auch für das Wurzelholz derselben. Doch machen sich dort auch gewisse charakteristische Unterschiede geltend, die auf dem Mengen- und Grössenverhältniss der einzelnen Elemente beruhen. Diese Unterschiede sind Gegenstand einer besonderen Untersuchung von H. v. Mohl gewesen [3]), aus welcher sich die physiologisch wichtigen Daten schöpfen lassen. Es hebt H. v. Mohl vornehmlich für die Edeltanne, welche am deutlichsten die charakteristischen Unterschiede des Wurzel- und Stammholzes aufweist, hervor, dass ihre Jahresringe meist weit geringere Dicke und grössere Weichheit als im Stammholz besitzen. In den dünnen Jahresringen, aus welchen schwächer gewachsene Wurzeln ganz aufgebaut werden, findet man fast ausschliesslich nur weit-

---

1) l. c. p. 214 und Tafel VII, Fig. 1 u. 2.

2) l. c. Sp. 708.

3) Einige anatomische und physiologische Bemerkungen über das Holz der Baumwurzeln, Bot. Ztg. 1862, p. 223.

lumige und relativ dünnwandige Tracheïden, was sich aus den hohen Anforderungen hinlänglich erklärt, die in Betreff der Wasserleitung an solche Wurzeln gestellt werden. In stärker gewachsenen Wurzeln, die auch dickere Jahresringe besitzen, ist in letzteren, wie im Stammholz, eine festere, aus dickwandigeren, mehr oder weniger in radialer Richtung zusammengedrückten Tracheïden gebildete Zone vorhanden. Das giebt in Fällen, wo dünne und dicke Jahresringe plötzlich abgewechselt haben, dem Wurzelholz im Querschnitt ein ganz eigenthümliches Aussehen. Der Umstand, dass in dünneren Jahresringen die Bildung verdickter Tracheïden so gut wie unterbleibt, zeigt, dass das Bedürfniss der Wasserleitung in der Wurzel vor allem die Differenzirungsvorgänge beherrschen und die Anforderungen an mechanische Festigkeit zurückdrängen kann. Anders fanden wir es im Schafte des alten Lärchenstammes, der sehr dünne Jahresringe führte, da wurde den Anforderungen der Wasserleitung in jedem Jahresringe zuerst durch Bildung sehr weiter, relativ dünnwandiger Tracheïden genügt, worauf dann aber die Bildung um so flacherer und stärker verdickter Spättracheïden folgte. Schwach gewachsenes Wurzelholz hat also keine stark verdickten Tracheïden aufzuweisen, während, wie auch schon H. v. Mohl hervorhebt, schwach gewachsenes Stammholz solcher nicht entbehren kann. Ja, H. v. Mohl stellt als Regel auf, dass der Bau der dicken und dünnen Jahresringe im Stamme und Wurzel das entgegengesetzte Verhalten zeige, indem im Stamme der äussere, aus dickwandigen Zellen bestehende Theil der Jahresringe einen desto grösseren Theil derselben bilde, je dünner diese Jahresringe seien, während umgekehrt in der Wurzel der äussere, festere Theil sich desto stärker entwickele, je dicker die Jahresringe sind — in sehr dünnen Jahresringen hingegen beinahe völlig fehle. Das letztere sei beständig in den innersten ältesten Jahresringen der Fall und wiederhole sich bei alten Wurzeln an der Peripherie derselben [1]). Bei der Fichte konnte Hermann Fischer [2]) die Angabe von H. v. Mohl,

1) l. c. p. 237.

2) Ein Beitrag zur vergleichenden Anatomie des Markstrahlgewebes und der jährlichen Zuwachszonen im Holzkörper von Stamm, Wurzel und Aesten bei Pinus Abies L., Flora, 1885, p. 305, 316.

dass die Jahresringe der Wurzeln an Dicke hinter denjenigen des Stammes zurückbleiben sollten, nicht bestätigen, wohl aber findet er, wie H. v. Mohl, dass im Wurzelholz der Fichte die Dicke des „Herbstholzes“ meist nur einen sehr kleinen Bruchtheil der Dicke des zugehörigen Jahresringes ausmache und bei Dickenzunahme des Jahresringes nur wenig an Dicke gewinne. In dem Stammholz der Fichte sollen sich aber, auch wieder v. Mohl's Angaben entsprechend, „die Querdurchmesser der Herbstholzlagen annähernd umgekehrt wie die Querdurchmesser der zugehörigen Jahresringe“ verhalten.

Die Weite der einzelnen Tracheïden pflegt, wie bekannt, im Wurzelholze bedeutender zu werden, geringer hingegen die durchschnittliche Dicke der Tracheïdenwände.

Nach Th. Hartig [1]) soll die Holzbildung in Wurzeln am spätesten beginnen und am kürzesten dauern, was die Angabe von H. v. Mohl, dass die Jahresringe dort schwächer seien, in einfacher Weise erklärt hätte. Th. Hartig schätzte die gesammte Zeit der Holzbildung in der Wurzel auf nur zwei Monate. Dem entgegen giebt Russow [2]) an, dass bei der Eiche und Esche, Kiefer und Lärche der Holzzuwachs in der Wurzel nur wenige Tage nach demjenigen im Stamme anhebt. Fast gleichzeitig stellte sich auch nach seinen Untersuchungen der Beginn der Gefässbildung in Wurzel und Stamm bei Prunus Padus und Tilia europaea ein, ja bei Tilia in der Wurzel sogar früher als im Stamm. Hugo v. Mohl [3]) hatte bei der Untersuchung verschiedener Laubhölzer, wie Esche, Kirschbaum (Prunus avium), Apfelbaum, Eiche und Buche den Beginn der Holzbildung in den Wurzeln einige wenige Wochen nach derjenigen der Zweigspitzen eintreten sehen. Gulbe's Untersuchung von 17 Nadel- und Laubhölzern ergab, dass im Frühjahr die Thätigkeit des Cambiums in den dünnen Zweigen beginnt, von da in den Stamm, dann in die dicken und zuletzt in die dünnen Wurzeln übergeht. Das nimmt nach Gulbe etwa vier bis fünf Wochen in Anspruch. Im Herbst soll in derselben Reihenfolge

1) Bot. Ztg. 1858, p. 332.

2) Ueber den Inhalt der parenchymatischen Elemente der Rinde vor und während des Knospenaustriebes etc., Sitzber. der Dorp. Naturf. Gesellsch. 1882, p. 386.

3) Einige anatomische und physiologische Bemerkungen über das Holz der Baumwurzeln, Bot. Ztg. 1862, p. 313.

die Cambiumthätigkeit erlöschen, dieser Vorgang aber jetzt zwei Monate verlangen. Erst in der zweiten Hälfte October höre die Cambiumthätigkeit in der Wurzel völlig auf[1]). Hugo v. Mohl giebt anderseits an, dass die Holzbildung in der Wurzel durch Herbst und Winter andauert und bei einigen Bäumen sogar erst nach Beginn der neuen Jahresringbildung in den Zweigen aufhören kann[2]). Dass trotzdem der jährliche Zuwachs geringer als im Stamme sei, hänge mit der äusserst langsamen Holzbildung innerhalb der Wurzel zusammen[3]). Dieses von H. v. Mohl behauptete Fortdauern der Holzbildung innerhalb der Wurzeln im Winter ist von Th. Hartig für ein abnormes erklärt worden[4]), und dieser Ansicht schliesst sich auch Russow an, der aber findet, dass die Lebensthätigkeit, wenn auch herabgesetzt, in den Wurzeln im Winter andauert, so dass sie unter besonders günstigen Verhältnissen sich auch wohl bis zur Zellbildung im Cambium steigern könnte[5]). Bei unseren Nadelhölzern soll aber, auch nach H. v. Mohl, die Holzbildung der Wurzel im Herbst ihr Ende erreichen[6]). Die zum Theil widersprechenden Resultate obiger Untersuchungen fordern zu weiteren Beobachtungen auf, scheinen aber bereits darauf hinzuweisen, dass thatsächlich ziemlich weitgehende Verschiedenheiten, je nach Standort und sonstigen Beziehungen, auch weiterhin zu constatiren sein werden.

Bei meiner Untersuchung der Coniferen-Stämme habe ich wiederholt Gelegenheit genommen, zu bestimmen, wie tief die lebendigen Markstrahlelemente in den Holzkörper hineinreichen. Am leichtesten ist diese Bestimmung im Herbst vorzunehmen, wenn die lebendigen Markstrahlelemente mit Stärke erfüllt sind. Im December wird die Stärke, wie zuerst Russow[7]) nachgewiesen hat, in den Stämmen der Coniferen, und auch

1) Ueber die periodische Activität des Cambiums in den Wurzeln unserer Bäume, Arb. d. St. Petersburger Naturf. Gesellsch., Bd. XVIII, p. 45.

2) l. c. p. 318.

3) l. c. p. 324.

4) Bot. Ztg. 1863, p. 288.

5) l. c. p. 388.

6) l. c. p. 313.

7) Sitzber. der Dorpater Naturf. Gesellsch., 1882, p. 368.

in einem Theil der Laubhölzer, durch Oeltropfen ersetzt, die nicht auf den ersten Blick von Harztropfen zu unterscheiden sind. Die Umwandlung der Stärke in Oel schreitet von der Rinde nach dem Innern des Holzkörpers fort, so dass vielfach das Bastparenchym bereits ausschliesslich Oeltropfen enthält, während der Stamm in den inneren Theilen noch von Stärke strotzt. Untersucht man radiale Längsschnitte im Spätherbst nach Zusatz von Jodlösung, so kann man in kürzester Zeit sich über die innere Grenze der lebendigen Markstrahlelemente Sicherheit verschaffen. Soweit ich hingegen diese Grenze im Winter oder zeitigen Frühjahr, in Stammtheilen, die keine Stärke führten, bestimmen wollte, härtete ich sie zunächst in Alcohol und stellte die Beobachtung in Methylgrün-Essigsäure [1]) an. Die sofortige intensive Färbung der Zellkerne liess auch da alle lebendigen Elemente als solche leicht unterscheiden.

Eine 60-jährige Fichte, die mir zur Beobachtung vorlag, maass dicht über dem Boden 37 cm im Durchmesser und zeigte stark excentrischen Bau, so dass auf der geförderten Seite die Entfernung vom Cambium bis zum Mark $21^1/_2$, auf der entgegengesetzten $11^1/_2$ cm betrug. In dieser Fichte liessen sich an der geförderten Seite die lebendigen Markstrahlelemente durch 24 äussere Jahresringe verfolgen. Freilich begann schon vom 12. Jahresringe an die Zahl der lebendigen Markstrahlzellen allmählich abzunehmen, um im 24. Jahresringe fast ganz zu erlöschen. Im 12. Jahresringe, von aussen gerechnet, waren fast alle lebendigen Markstrahl-Zellreihen noch intact erhalten, weiterhin begannen sich in einzelnen Zellreihen Harztropfen zu zeigen, auch wohl einzelne Zellreihen sich zu entleeren, und dies setzte sich so fort bis zum Absterben sämmtlicher Elemente. Die Entfernung vom Cambium bis zum 12. Jahresringe betrug $3^1/_2$ cm, von da ab bis zum 24. Jahresringe weitere $5^1/_2$ cm, von da ab endlich bis zum Mark noch $12^1/_2$ cm. Auf der schmalen Stammseite richtete sich die Tiefe, bis zu welcher die lebendigen Elemente reichten, ebenfalls nach den Jahresringen und nicht nach dem Durchmesser. Mit dem 12. Jahresringe war auch hier das Auftreten harzführender und sich entleerender Markstrahlzellen zu constatiren, und auch hier drangen die

---

1) Eine intensiv blaugrüne Lösung von Methylgrün in 2 % Essigsäure.

Reste lebendiger Elemente nicht viel tiefer als bis zum 24. Jahresringe ein. Auf dieser schmalen Seite betrug aber die Entfernung vom Cambium bis zum 12. Jahresringe nur 1,6, von da ab bis zum 24. Jahresringe weiter 3,6 cm, von da ab bis zum Mark noch 6,3 cm. Vom botanischen Standpunkt muss das ganze innere Holz, welches hier keine lebendigen Elemente mehr führte, als Kernholz bezeichnet werden, technisch wird es bei der Fichte als solches nicht unterschieden, da es sich in der Farbe nicht und in den übrigen Eigenschaften kaum von dem Splint unterscheidet und hauptsächlich nur an Wasserreichthum hinter demselben zurücksteht. Daher die Fichte auch allgemein den „Splintbäumen“ zugezählt wird. — Die stärkste Seitenwurzel derselben Fichte habe ich ebenfalls auf das Verhältnis von Splint und Kernholz untersucht. Diese Wurzel entsprang dem Stamme dicht unter der Bodenoberfläche, zeigte zunächst ziemlich horizontalen Verlauf und war stark epinastisch. Die lebendigen Markstrahlelemente reichten in derselben etwas tiefer als im Stamm. Sie waren bis zum 32. Jahresringe von aussen einzeln zu verfolgen, wenn sie auch schon vom 20. Jahresringe an merklich abnahmen. Der unterste, stärkste Stammast dieser Fichte, 32 Jahre alt, 5 cm über der Insertionsstelle einen Durchmesser von 6 cm aufweisend, führte lebendige Elemente noch bis zur Mitte, wenn dieselben auch in den innersten acht Jahresringen wesentlich reducirt sich zeigten. Ebenso waren die lebendigen Elemente in einem anderen 4,5 cm dicken Aste desselben Baumes bis zum Mark zu verfolgen. — Um mich über diese Beziehungen auch an anderen Fichten zu unterrichten, entnahm ich einer kräftigen, ca. 70-jährigen Fichte des hiesigen botanischen Gartens mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer einen 5,5 cm langen Spahn, der 42 Jahresringe durchsetzte. Die lebendigen Elemente reichten 2,5 cm tief vom Cambium in den Holzkörper hinein, und schloss dieser Splint 26 Jahresringe ein. Der unterste, noch gesunde, doch nicht mehr kräftig belaubte Zweig dieser Fichte, in 4 cm Höhe abgehend, 4,5 cm dick, 46 Jahre alt, zeigte einen Kern, der sich über 27 Jahresringe erstreckte. Der Splint, der somit auf 19 Jahresringe beschränkt war, besass an der unteren, etwas geförderten Astseite 0,6 cm, der Kern ebendort 1,9 cm Dicke. Die Jahresringe in diesem Aste zeigten sich sehr ungleich entwickelt. Der 12. Jahresring von

aussen, im Splint gelegen, war allein so stark, wie die 6 weiter nach aussen folgenden. Alle 11 äussersten Jahresringe waren überhaupt sehr dünn. Auf den 12. starken Jahresring folgten nach innen zu wiederum schwächere, doch allmählich, nicht ohne erhebliche Schwankungen, an Weite zunehmende Jahresringe: so bis zur Mitte des Astes. Auch im Schafte dieses Baumes, trotzdem ihm niemals Aeste genommen worden waren, zeigten sich die Jahresringe sehr ungleich entwickelt.

Ein von Herrn Forstmeister Sprengel mir gütigst zur Verfügung gestellter, auf Grauwacke, an einem relativ sehr trockenen Standorte, gewachsener 42-jähriger Kiefernstamm hatte am Schaft ca. 0,5 m über dem Boden einen Holzkörper von 15 cm Durchmesser aufzuweisen. Der Holzkörper war stark excentrisch gebaut, maass an der breitesten Seite, vom Mark bis zum Cambium 10 cm. Die lebendigen Elemente der Markstrahlen reichten, von aussen gerechnet, bis zum 28. Jahresringe, und dieser Jahresring war an der breitesten Stelle 6 cm vom Cambium entfernt. Vom 14. Jahresringe an war übrigens schon eine Abnahme der lebendigen Elemente zu constatiren. Diese Kiefer war Ende December gefällt worden und enthielt keine Stärke mehr, sondern an deren Stelle Oeltropfen. Selbst in dem Holzparenchym um die Harzgänge war die Stärke durch Oeltropfen ersetzt worden. Vom 14. Jahresringe an war zwischen den Oeltropfen der lebendigen Markstrahlzellen beginnende Harzbildung zu constatiren, die weiterhin mehr und mehr zunahm. Die Harztropfen zeigten sich nur wenig gebräunt. Ueberhaupt war der Kern dieses Stammes in seiner Färbung kaum von dem Splinte verschieden. Diese mit dem Splinte übereinstimmende Färbung veränderte sich auch nicht nach längerem Liegen der Holzstücke. Für gewöhnlich besitzen die Kiefern hingegen einen rothbraunen Kern, der unter der Einwirkung des Sauerstoffs der Luft nach der Fällung vortritt [1]). Einen solchen wies denn auch ein anderer 58-jähriger Stamm auf, den ich ebenfalls Herrn Forstmeister Sprengel verdanke und der auf Diluvialboden sehr nass, fast im Sumpfe gestanden hatte. Auch dieser Stamm war excentrisch gebaut; der Holzkörper maass im Schafte

1) Hartig, Unters. aus dem Forstbot. Institut zu München, II, p. 56.

über dem Wurzelknoten 21 cm, an der breitesten Stelle, vom Mark bis zum Cambium, 13 cm. In diesem Exemplar waren die lebendigen Markstrahlelemente vereinzelt bis zum 36. Jahresringe, von aussen gerechnet, zu verfolgen. Dieser Jahresring zeigte sich an der breitesten Stelle um 6 cm vom Cambium entfernt. Der Anfang Januar gefällte Baum war nicht ganz frei von Stärke, vorwiegend führte er aber Oeltropfen in seinen lebendigen Elementen. Vom 20. Jahresringe, von aussen, waren auch Harztropfen in den Markstrahlzellen vertreten. Vom 30. Jahresringe nahmen diese Harztropfen bräunliche Färbung an. Die braune Färbung des Holzkörpers wuchs mit der Masse der braunen Inhalt führenden Markstrahlelemente, der Kern erschien aber nicht scharf gegen den Splint abgesetzt. Wie schon erwähnt, reichten die lebendigen Markstrahlelemente, wenn auch vereinzelt, bis 6 cm tief vom Cambium an der breitesten Seite in den Holzkörper hinein. Diese von 36 Jahresringen gebildete Holzlage, den eigentlichen Splint und den Uebergang zum Kernholz in sich schliessend, betrug nicht ganz die Hälfte des Stammdurchmessers, dessen andere, grössere Hälfte nur 22 Jahresringe zählte. Die Pfahlwurzel der ersten dieser beiden Kiefern hatte elliptischen Querschnitt und erreichte an dem mir zur Verfügung gestellten Stücke nur 9 zu 7 cm Durchmesser. Sie zählte im Ganzen 26 Jahresringe, und wie vorauszusehen war, reichten die lebendigen Elemente bis zum Marke. Dasselbe war auch der Fall bei einer sehr stark epinastischen 25-jährigen Seitenwurzel. Eine Seitenwurzel der zweiten Kiefer, die ich untersuchen konnte, war hingegen wesentlich älter und hatte auch einen Kern aufzuweisen. Ebenfalls stark epinastisch, zählte sie 49 Jahresringe, von denen 40 im Splint und 9 im Kern. Die Entfernung vom Cambium zum Mark betrug auf der oberen, geförderten Seite 10 cm, davon kamen 7,5 cm auf den Splint und 2,5 cm auf den Kern. Der Uebergang vom Splint zum Kern vollzog sich sehr rasch, innerhalb eines einzigen Jahresringes. Auch aus den Angaben von Russow [1]) über die Tiefe, bis zu welcher im Stamm- und Wurzelholz der gemeinen Kiefer die Schliesshäute der Hoftüpfel frei ausgespannt sind, liess sich berechnen, dass der Splint in der Wurzel tiefer als im Stamm in den Holzkörper reicht. — Ein

1) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 63.

Seitenast der ersten der beiden Kiefern, 3,55 m über dem Boden dem Stamme entnommen, hatte bei 4 cm Durchmesser und schwach hyponastischem Bau 29 Jahresringe aufzuweisen. Nur die vier innersten Jahresringe waren ganz ohne lebendige Elemente, beanspruchten aber, in Folge ihrer starken Entwicklung, fast die Hälfte des Halbmessers. Sie erreichten zusammen eine Dicke von 0,9 cm, der Splint nur eine solche von 1,1 cm. Die 18 äusseren Jahresringe waren sehr schwach entwickelt, zusammen nur 5 mm Dicke. Vom 19. bis zum 25. Jahresringe, von aussen, nahmen die lebendigen Elemente sehr bedeutend ab. Ein Seitenast der zweiten Fichte, der mir zur Untersuchung vorlag, hatte 32 Jahresringe und wies 24 Jahresringe Splint und 8 Jahresringe Kernholz auf. An der unteren, geförderten Seite war der Splint 1,6 cm, der Kern 0,6 cm stark. Der Uebergang vom Splint- zum Kernholz vollzog sich sehr rasch, innerhalb von zwei Jahresringen. Ein Zweig endlich von einer ziemlich frei stehenden Kiefer im hiesigen botanischen Garten, der bei einem Durchmesser von 3,5 cm 29 Jahresringe zeigte, liess noch kein Kernholz, wohl aber bereits ein Schwinden des Inhalts der lebendigen Markstrahlzellen in den vier innersten Jahresringen erkennen.

Ein Querschnitt aus dem Schafte einer 58-jährigen Edeltanne, den ich Herrn Forstmeister Sprengel verdanke, hatte lebendige Elemente in den 32 äusseren Jahresringen aufzuweisen. Von da ab wurde der lebendige Inhalt der Markstrahlen, ziemlich unvermittelt, durch Harz ersetzt, welches auch in ziemlich reichlicher Menge die Holztracheïden erfüllte. Der Durchmesser der ganzen Querscheibe betrug 16 cm. Der Splint reichte genau bis zur Hälfte des Halbmessers, von da ab bis zur Mitte war nur noch todtes Holz, somit Kernholz, vorhanden. Dieses zeigte sich etwas dunkler gefärbt, und zwar begann in dem vorliegenden Falle die dunklere Färbung genau an der Stelle, wo die lebendigen Elemente aufhörten, um weiterhin noch eine deutliche Steigerung zu erfahren. Das Kernholz der Edeltanne pflegt für gewöhnlich dunkler als der Splint zu sein, doch hatte ich auch Gelegenheit, Stämme zu sehen, an denen das Kernholz sich kaum unterscheiden liess.

Der schon von mir erwähnte, alte, abständig gewordene Lärchenstamm hatte seine letzten lebendigen Elemente im 32. Jahresringe, von aussen, aufzuweisen. Eine sehr merkliche

Abnahme der lebendigen Elemente machte sich vom 25. Jahresringe an geltend und damit eine beginnende Rothbraunfärbung des Holzes. Die gesammte Dicke der die lebendigen Elemente enthaltenden Stammzone, vom Cambium durch 32 Jahresringe, betrug hier nur 1,2 cm. Der Baum war eben alterschwach und bildete äusserst dünne Jahresringe. Der Splint erstreckte sich in Folge dessen über eine relativ grosse Zahl von Jahresringen, zeigte trotzdem eine sehr geringe Dicke. Es standen mir auch, durch die Güte des Herrn Dr. Dietrich Brandis, in Alcohol aufbewahrte Stücke aus dem Schafte zweier völlig gesunder ca. 45- bis 48-jähriger Lärchen, die in dichtem Bestande aufgewachsen waren, zur Verfügung. In dem einen Exemplar hatten die lebendigen Markstrahlelemente, wie dem fixirten Zellinhalt nach zu urtheilen war, durch 20 Jahresringe gereicht. Der Uebergang vom hellen Splint zu dem rothbraunen Kernholz vollzog sich äusserst rasch, innerhalb des 18. und 19. Jahresringes. In dem zweiten Exemplar waren lebendige Markstrahlelemente durch 16 Jahresringe zu verfolgen, der Uebergang vom Splint zum Kernholz fand ebenso plötzlich im 14. und 15. Jahresringe statt. Der Durchmesser des Splints betrug in dem ersten dieser beiden Exemplare an der untersuchten Stelle 2,1 cm, bei dem anderen 3,6 cm. Von allen drei von mir untersuchten Lärchen besass also gerade diejenige den stärksten Splint, welche die wenigsten Jahresringe in demselben zählte. Auf eine bestimmte Mächtigkeit der leitungsfähigen Bahnen, nicht auf die Zahl der Jahresringe in denselben kommt es somit in jedem Einzelfalle an. — Dass die Lärche durch „früh eintretende“ Kernbildung ausgezeichnet ist, giebt unter Anderen auch R. Hartig an[1]); richtiger müsste es eigentlich heissen: durch eine geringe Dicke des Splintes, da wir in unserem ersten Exemplare thatsächlich 32 Jahresringe in dem schmalen Splint gezählt haben. Dass übrigens unter Umständen bei Larix europaea auch ein sehr starker Splint vorkommen kann, das lehrte mich die Untersuchung eines im hiesigen botanischen Garten gewachsenen ca. 20-jährigen Baumes. Dieser Baum steht fast frei, hat sich sehr kräftig entwickelt und ist bis zur Basis stark beästet. Der Durch-

1) Unters. aus dem Forstbot. Inst. zu München, II, 1882, p. 57.

messer des Stammes beträgt 1 m über dem Boden 23 cm. Mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer an zwei entgegengesetzten Seiten in dieser Höhe dem Stamm entnommene Späne zeigten einen Splint von 5 cm Dicke. Derselbe erstreckte sich, trotz dieser bedeutenden Dicke, nur über 7 Jahresringe. Die starke Belaubung dieses Baumes hatte die Entwicklung so starker Jahresringe zur Folge und verlangte jedenfalls auch einen so dicken Splint. Der 7. Jahresring, von aussen, hatte für sich allein einen Durchmesser von 1,2 cm erreicht. Diese Lärche war es, die zweimaligen Wechsel weiterer und engerer Tracheïden in einer Anzahl von Jahresringen bot. Ein fast in gleicher Höhe, in welcher die Späne entnommen worden waren, vom Stamm abgesägter Seitenast zeigte bei einem Durchmesser von 3,5 cm einen Splint von nur 0,4 cm, der für die Bedürfnisse des Astes somit ausreichte. Der Splint erstreckte sich über 5 Jahresringe, von welchen der innerste besonders kräftig war und an Breite den vier nach aussen folgenden gleichkam. Der Kern erstreckte sich über 7 Jahresringe von zusammen 1,3 cm Durchmesser. Um weitere Vergleichungspunkte zu gewinnen, entnahm ich auch noch dem Schaft einer ca. 80-jährigen kräftigen Lärche, die ihre untersten Aeste in ca. 4 m Höhe trug, mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer einen Span und bestimmte die Dicke des Splintes in demselben auf 3,6 cm und auf 14 Jahrgänge; der unterste abgesägte, reich fructificirende Seitenast hatte bei einem Durchmesser von 3 cm und einer Zahl von 18 Jahresringen 10 Jahresringe Splint mit einem Durchmesser von 1,1 cm aufzuweisen. Der Uebergang von Splint zu Kern vollzog sich in diesem Ast relativ langsamer als im Holzkörper der übrigen von mir untersuchten Lärchen. Der Baum stand relativ frei, war kräftig belaubt und besass demgemäss auch viel Splint im Schafte.

Bei Larix sibirica fand Russow die Schliesshäute der Hoftüpfel frei in den 9 äusseren Jahresringen; vom 11. Jahresringe ab überall angedrückt mit stark eingekrümmtem Torus [1]). In der Wurzel von Larix sibirica waren die Schliesshäute frei bis zum 21. Jahresringe [2]), so dass auch bei der sibirischen Lärche

---

1) Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 63.
2) l. c. p. 63.

der Splint im Holz der Wurzel tiefer als in demjenigen des Stammes zu reichen scheint.

Ein 58 Jahre alter Stamm von Ginkgo biloba aus hiesigem botanischen Garten, dessen Schaft 2 m über dem Boden 36,5 cm im Holzkörper maass, hatte dort noch 54 Jahresringe aufzuweisen. Ein Kern war innerhalb dieses Holzkörpers an der bräunlichen Färbung kenntlich, die nach der Fällung unter dem Einfluss der Luft wesentlich deutlicher hervortrat. Die Umrisse des Kerns zeigten grosse Unregelmässigkeit, eine Erscheinung, die ja auch sonst bei Kernbäumen häufig ist[1]). Die lebendigen Markstrahlelemente reichten genau bis an die dunklere Grenze und hörten demgemäss zwischen dem 24. bis 30. Jahresringe von aussen auf. Der Stamm war excentrisch gebaut. Das Mark lag an der breitesten Seite vom Cambium um 23 cm, an der schmalsten Seite um 13,5 cm entfernt. Der geringste Abstand des Kernholzes vom Cambium betrug 7 cm, der grösste 15,5 cm. Der Uebergang von Splint zu Kernholz vollzog sich innerhalb mehrerer Jahresringe dadurch, dass sich an Stelle von Oeltropfen (die Untersuchung wurde im Januar vorgenommen) Harztropfen einstellten, die weiterhin, so wie der Gesammtinhalt der absterbenden Markstrahlzellen, gelbbraune Färbung annahmen.

Mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer entnahm ich dem Hauptstamm und den Seitenästen von zwei starken, ziemlich frei stehenden Exemplaren von Taxus baccata, im hiesigen botanischen Garten, Späne, die bis ins Kernholz reichten. In dem einen Stamme, der 1 m über dem Boden einen Durchmesser von 18 cm zeigt, erstreckte sich der Splint über 8 Jahresringe und maass 1,5 cm; ein 6,5 cm dicker Seitenast desselben Baumes hatte nur 0,4 cm Splint, der trotzdem nicht weniger als 24 Jahresringe umfasste, aufzuweisen. In dem anderen Stamme, der 1 m über dem Boden 12 cm Dicke zeigte, misst der Splint an jener Stelle 1,5 cm und umfasst 10 Jahrgänge. Ein etwas höher diesem Stamm entnommener, 3,5 cm dicker Ast hatte nur 0,6 cm Splint, der sich über 10 Jahrgänge erstreckte. Nördlinger hebt Taxus besonders als Baum mit sehr ungleich-

---

1) Vergl. Nördlinger, Die technischen Eigenschaften des Holzes, 1860, p. 31.

mässig entwickeltem Kerne hervor [1]). Es komme vor, dass der Splint bei Taxus auf der einen Seite nur als schmales Säumchen entwickelt sei, auf der entgegengesetzten Seite die siebenfache Breite besitze. Zwei Aeste, die ich absägen liess, zeichneten sich durch eine ziemlich gleichmässige Entwicklung des Kernes aus; von zwei Stämmen, die ich an entgegengesetzten Seiten anbohrte, hatte der eine beiderseits annähernd gleich viel, der andere auf der einen Seite fast doppelt so viel Splint wie auf der anderen aufzuweisen. In diesem letzten Falle erstreckte sich der Splint auf der einen Seite über 16, auf der entgegengesetzten nur über 9 Jahresringe.

Ein älterer Stamm von Thuya occidentalis aus hiesigem botanischen Garten zeigte vom 24. Jahresringe an, bis zum Mark, eine intensive Braunfärbung. Die Markstrahlen erwiesen sich als völlig unverändert bis zum 21. Jahresringe und waren auch bis dahin mit Stärke dicht erfüllt. Weiter nach innen zu, bis zum 24. Jahresringe, nahmen die lebendigen Markstrahlzellen rasch ab, die Stärke wurde durch braun gefärbte Harzmassen ersetzt. Weiterhin lag nur todtes Holz vor. Der Durchmesser des Splintes betrug nur 12 mm.

Dass das Kernholz nur noch todte Zellen führe, darauf hat Sanio bereits im Jahre 1858 hingewiesen [2]). Er hebt ausdrücklich hervor, dass die Ansammlung von Stärke in den Jahresringen aufhöre, wenn diese zu Kernholz werden, und fügt hinzu, dass der Uebertritt der Jahresringe zum Kernholz deren Tod anzeige. Damit war aber bereits das wichtigste Merkmal der Kernholzbildung erfasst, dasjenige, welches meiner Ansicht nach wissenschaftlich allein zu dieser Bezeichnung verwerthet werden kann.

Dass die bestimmte Färbung des Holzes, wie sie mit der Kernbildung meist verbunden ist, von dem Inhalt der Markstrahlzellen ausgeht, dass dieser Inhalt zunächst die entsprechende Färbung annimmt, und dass sich letztere von den Markstrahlzellen aus im Holzkörper verbreitet, darauf haben neuerdings

---

1) l. c. p. 31.

2) Untersuchungen über die im Winter stärkeführenden Zellen, p. 19; dann auch Bot. Ztg. 1860, p. 202 Anm. *.

auch R. Hartig[1]) und Mer[2]) hingewiesen. Bei Hölzern mit Holzparenchym geht die Färbung auch von diesem, ganz wie von den lebendigen Markstrahlelementen, aus[3]). Dass aber eine Farbenänderung nicht für die Bildung des Kernholzes maassgebend ist, das haben wir bei der Fichte gesehen. Das Kernholz der Fichte unterscheidet sich aber thatsächlich durch seine Trockenheit und die mehr oder weniger starke Durchtränkung mit Harz von dem Splintholze[4]); mikroskopisch stellt man ausserdem fest, dass es geschlossene Hoftüpfel im Früh- und Folgeholz, ausserdem nur todte Markstrahlelemente führt und somit wirklich ein Kernholz ist. — Die Menge der erzeugten Kernproducte kann im Kernholz der Fichte oft so gering sein, dass bei mikroskopischer Betrachtung als Merkmal der Verkernung nur das Geschlossensein der weiteren Hoftüpfel und die Leblosigkeit der unter solchen Umständen fast völlig leer erscheinenden Markstrahlen dem Beobachter entgegentritt.

Eine genaue Feststellung der Splint- und Kernholzgrenze ist in allen denjenigen Fällen nothwendig, wo man durch ringförmige Einschnitte in den Stamm den Nachweis liefern will, dass das Kernholz unfähig zur Wasserleitung sei. Die Splint-

---

1) Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen. Unters. aus dem Forstbot. Inst. zu München, II, 1882, p. 49.

2) Recherches sur la formation du bois parfait. Bull. de la Soc. bot. de France, Bd. XXXIV, p. 357.

3) Eine offene Frage ist es noch, ob bei der Verkernung die Umwandlung der in den Markstrahlen und dem Holzparenchym vertretenen Substanzen ausreicht, um die Kernstoffe zu liefern, welche den Holzkörper durchdringen, oder ob eine Zuleitung von Kernstoffen, vornehmlich des Gerbstoffes, von weiter her erfolgt. Gregor Kraus nimmt das letztere an (Grundlinien zu einer Physiologie des Gerbstoffes, 1889, p. 57) und befindet sich darin in Uebereinstimmung mit R. Hartig (Ueber die Vertheilung der organischen Substanz etc., Unters. aus dem Forstbot. Inst. zu München, II, p. 49), der bei der Eiche eine nicht unerhebliche Gewichtszunahme der verkernenden Holztheile constatirte. An der Richtigkeit der örtlichen Production ist meiner Ansicht vor Allem nicht zu zweifeln, ausserdem dürfte aber in Hölzern, die sehr reich an Kernstoffen werden, eine Zuleitung aus der Entfernung, vornehmlich wohl von Gerbstoffen, stattfinden.

4) Vergl. auch R. Hartig, l. c. p. 54.

und Kernholzgrenze ist aber, wie ich oben zu zeigen suchte, nur durch mikroskopische Untersuchung, durch die Feststellung der Tiefe, bis zu welcher die lebendigen Elemente im Holzkörper reichen, zu bestimmen. Es ist daher nothwendig, allen Einschnittversuchen eine mikroskopische Untersuchung der Splinttiefe vorausgehen zu lassen, wozu das Material leicht mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer zu gewinnen ist. Da aber die Tiefe des Splintes an den verschiedenen Seiten eines Stammes ungleich sein kann, so ist die Entnahme einer grösseren Anzahl von Spähnen im Umkreis des Stammes nothwendig. Manche Angaben über eine bedingte Leitungsfähigkeit des Kernholzes wären unterblieben, wenn man die genannten Vorsichtsmaassregeln eingehalten hätte. Bei der von mir untersuchten, 37 cm dicken, stark excentrischen Fichte wäre in der angegebenen Höhe ein Kreisschnitt nothwendig gewesen, der auf der Seite schwächsten Wachsthums nur 5,2 cm tief, auf derjenigen stärksten Wachsthums hingegen 9 cm tief in den Holzkörper gereicht hätte. Bei der einen, 15 cm im Holzkörper dicken, excentrischen Kiefer hätte in der entsprechenden Höhe der Kreisschnitt an der Seite schwächsten Wachsthums nur ca. 3 cm tief, an der Seite stärksten Wachsthums hingegen 6 cm tief gehen müssen. Bei der anderen, ebenfalls excentrischen Kiefer, von 21 cm Durchmesser, wäre auf der einen Seite ein Einschnitt von ca. 3 cm, auf der anderen von 6,5 cm nothwendig gewesen. Bei der 16 cm dicken, gleichmässig entwickelten Edeltanne hätte der Kreisschnitt, in entsprechender Höhe, die gleichmässige Tiefe von 4 cm beansprucht. Bei den drei von mir zunächst behandelten Lärchen wäre ein Kreisschnitt von etwas mehr als 1,2 cm, beziehungsweise 2,1 cm und 3,6 cm erforderlich gewesen. Der 58-jährige Ginkgostamm verlangte 2 m über dem Boden einen Kreisschnitt, der an der Seite breitesten Zuwachses nicht weniger als 15,5 cm tief, an der Stelle schwächsten Wachsthums mindestens 8,5 cm tief in den Holzkörper hätte eindringen müssen, um alles lebendige Holz zu durchschneiden. Bei dem älteren Lebensbaume hätte, wie bei der einen abständigen Lärche, eine Ringschicht von nur 1,2 cm genügt. — In Fällen, wo der Kern unregelmässig umschrieben ist und stellenweise vorspringt, hätte der Einschnitt über die tiefste Stelle hinauszugehen, diese somit festgestellt werden müssen. Einen besonders unregelmässigen Kern fand ich gelegentlich bei

einer 33-jährigen Lärche vor. Der Splint umfasste an der schmalsten Stelle nur 10, an der breitesten 20 Jahresringe. Die schmalste Stelle hatte einen Durchmesser von 2 cm, die breiteste von 5 cm aufzuweisen. Der Umriss des Kernholzes sprang oft ganz plötzlich vor, um ebenso plötzlich zurückzugehen. — Eine kräftige Kiefer vom Venusberge bei Bonn, die ich von ihrem Besitzer erwarb und fällen liess, stellte sich, trotz ihres ansehnlichen Durchmessers von 24 cm, als nur 23-jährig und als noch kernlos heraus. Diese Kiefer hatte auffallend starke Jahresringe gebildet, ihre lebendigen Markstrahlelemente reichten noch bis zum Mark. Da hätte ein Kreisschnitt nur sehr unvollkommene Resultate liefern können.

Die Angaben über Kernholzbildung, die ich hier zusammengestellt habe, dürften auch, abgesehen von dem Ziele, das ich mir gesteckt habe, nicht ganz ohne Interesse sein, weil sie zeigen, wie verschieden bei einer und derselben Baumart, je nach den Umständen, und wie verschieden bei nahe verwandten Hölzern, auch von den individuellen Schwankungen abgesehen, die Splintdicke sein kann. — Die Splintdicke ist dann aber auch noch innerhalb desselben Individuums Schwankungen unterworfen, je nach der Stammseite, der Höhe am Schaft, der Wahl von Schaft, Aesten oder Zweigen für die Untersuchung. Die Zahl meiner Erfahrungen ist zu gering, um allgemeine Schlussfolgerungen zu ermöglichen. Diese zu erlangen, wird vor allem Sache des Forstmannes sein, da dieser allein über das nöthige Material verfügen dürfte. Es galt mir daher, nur auf die Punkte hinzuweisen, nach welchen die Untersuchungen zu richten sind, und ich hebe nochmals hervor, dass die mikroskopische Untersuchung des Zellinhalts, bei entsprechender Methode, die allein sicheren Grenzbestimmungen von Splint und Kern wird liefern können. Auf Grund meiner Erfahrungen möchte ich immerhin als wahrscheinlich annehmen, dass der Splint am tiefsten innerhalb der Wurzel in den Holzkörper hineinreicht und im Allgemeinen auch dicker im Schaft ist als in den Aesten. Während freilich in der Wurzel das Mehr des Splintes sich nicht allein auf den Durchmesser, sondern auch auf die Zahl der Jahresringe bezieht, habe ich in den Aesten, bei geringerem Durchmesser des Splintes, oft mehr Jahresringe in denselben als innerhalb des Schaftes gezählt. Im Allgemeinen glaube ich annehmen zu dürfen, dass sich die Dicke

des Splintes nach der Stärke der Belaubung richtet, und zwar bei stärkerer Belaubung grösser ist, als bei schwacher. Auf die Dicke der Splintschicht allein kommt es da aber an, nicht auf die Zahl der Jahresringe in derselben, und wird es sich daher empfehlen, bei allen Bestimmungen der Splintdicke vor allem dieses Verhältniss ins Auge zu fassen. Die Stärke der einzelnen Jahresringe bildet eine für dieselbe Pflanzenart, ja für dasselbe Individuum, innerhalb so weiter Grenzen schwankende Grösse, dass man mit einer Angabe über die Zahl der Jahresringe im Splint keine recht bestimmte Vorstellung über die wirkliche Dicke desselben verbinden kann. Haben wir doch vielfach einzelne Jahresringe angetroffen, die nicht weniger als sechs anderen, vorausgehenden oder folgenden, an Dicke gleich kamen. Zu beachten ist bei allen Messungen auch, dass der Uebergang vom Splint bei gewissen Baumarten ziemlich unvermittelt, bei anderen langsam erfolgt. Das müsste stets durch directe Beobachtungen festgestellt und genau angegeben werden, da ja ein zur Hälfte schon abgestorbener Holzkörper nicht gleich demjenigen sich zu verhalten braucht, der noch im Vollbesitz aller seiner lebendigen Elemente steht. Diese Bestimmungen erscheinen um so nothwendiger, als sich auch verschiedene Individuen derselben Species, ja verschiedene Stellen desselben Individuums, oft in dieser Beziehung verschieden verhalten. Auf Grund der Untersuchung sehr zahlreicher Kiefern, wobei die Bestimmungen freilich nur nach rein äusserlichen Merkmalen vorgenommen wurden, die bei der Kiefer nicht immer sichere Resultate liefern, gab Märker [1]) an, dass die Kernholzbildung im Schaft der Kiefer durchschnittlich etwa im 30. Jahre beginne. Wie weite Schwankungen möglich sind, geht daraus hervor, dass Märker im extremen Fall 76 Splintringe zählte. Am Zopfabschnitt fand Märker durchschnittlich 13 Jahresringe weniger als am Schaftabschnitt, und zwar soll diese Differenz im Allgemeinen um so grösser sein, je älter der Stamm und je mehr Splintringe er überhaupt zählt. Dieselben Bestimmungen bei der Kiefer nahm neuerdings auch Michaelis vor [2]). Er zählte die Ringe nicht, sondern maass den Durchmesser des Stammes und des Kernholzes und berechnete aus

1) Forstliche Blätter, 1885, p. 73.
2) Ebendas. 1887, p. 165.

diesen Elementen Kreisflächen- und Massenantheil. Er fand übereinstimmend mit Märker, dass in allen Altersstufen das Kernholzprocent am Zopfende überwiegt, und giebt er an, dass bis zum 120. Jahre die stärkeren Stämme ärmer, in höherem Alter reicher an Kernholz sind. Ganz neuerdings rechnet Wieler [1]), mit Hilfe der R. Hartig'schen Tabellen, ebenfalls aus, dass die Kernholzbildung in höheren Regionen des Baumes relativ früher eintritt als in tieferen. Bei zwei speciell auf diese Verhältnisse hin untersuchten Kiefern von 147 Jahren fand R. Hartig [2]) die Ringzahl des Splintes unten am grössten, nach oben zu schnell und regelmässig abnehmend; und so wurde auch die Dicke dieser Zonen nach oben zu geringer.

Mit den Ursachen der Excentricität der Jahresringbildung, vornehmlich der Nadelhölzer, hat sich E. Mer neuerdings eingehender befasst [3]), und seine Untersuchungen zeigen, dass diese Ursachen ziemlich mannigfaltiger Art sein können. Buffon und Duhamel [4]) hatten sich dieselben Fragen schon 1734 vorgelegt und waren zu der Ansicht gelangt, dass die ungleiche Vertheilung der Wurzeln und Zweige am Baum allein die Excentricität des Wachsthums bedinge. Mer nun findet, dass an steilen Abhängen die Jahresringe der Bäume stärker an der aufsteigenden als an der abfallenden Seite seien, und dass dieser Unterschied mit der Stärke der Neigung wachse. Der Unterschied sei besonders in den unteren Theilen des Schaftes kenntlich, nehme nach oben zu ab und schwinde in den oberen Theilen des Baumes. Er sei beständiger bei der Kiefer als bei der Fichte oder gar bei der Buche. Am Waldessaum wird die freie Seite der Stämme gefördert, weil hier Wurzeln und Beastung stärker entwickelt sind; doch kann dessen ungeachtet dort in Folge zu starker Erwärmung der freien Seite, wie das

---

1) Berichte der Deutsch. bot. Gesellsch., 1888, p. 432.

2) Allg. Forst- und Jagd-Zeitung 1889, p. 405.

3) Des causes qui produisent l'excentricité de la moelle dans les sapins. Comptes rendus, 1888, T. CVI, p. 313; De l'influence de l'exposition sur le développement des couches annuelles dans les sapins, Journ. de Botanique, 1888, p. 165 ff., 184 ff., und Influence de l'exposition sur l'accroissement de l'écorce des sapins. Journ. de Bot. 1889, p. 52 ff.

4) Oeuvres de Buffon, troisième mémoire relatif aux expériences sur les végétaux.

an westlichen Abhängen der Fall ist, das Wachsthum verlangsamt werden. Im Frühjahr, meint Mer, wird zwar das Cambium an der stärker erwärmten Seite zunächst in Thätigkeit treten, im Sommer aber diese Thätigkeit dort sistirt werden, und schliesslich das Wachsthum auf der entgegengesetzten Seite so weit überwiegen, dass diese stärkere Jahresringe aufweist. Damit hänge es auch zusammen, dass an der im ersten Frühjahr geförderten Seite der schmälere Jahresring vornehmlich aus Frühholz besteht, während man an der anderen Seite den stärker entwickelten Jahresring vornehmlich aus Spätholz gebildet finde. Diese Spätholzbildung sei der stärkeren Ernährung zuzuschreiben, indem nach Sistirung des Wachsthums an der zu stark erwärmten Seite alle Nahrungsstoffe der anderen Seite zu Gute kämen. Da die zu starke Erwärmung besonders die unteren Theile des Stammes treffe, welche auch die vom Boden aus reflectirte Wärme empfangen und auch nicht von den erst höher entspringenden Zweigen beschattet werden, so seien es auch diese unteren Stammtheile, welche die Excentricität des Wachsthums am stärksten zeigen. — Aus den gleichen Ursachen der zu starken Erwärmung während der Sommermonate sollen im Allgemeinen bei den Bäumen die Jahresringe kräftiger entwickelt sein an der Ost- als an der Westseite, nach Norden als nach Süden. Wenn eine Kiefer einer anderen zu stark genähert sei, so würde ihr Dickenwachsthum an jener Seite meist gehemmt. Von zwei ungleich starken Exemplaren pflegte das stärkere meist weniger, auch wohl nichts, von dieser Excentricität zu zeigen. Bei gekrümmten Exemplaren seien die Jahresringe stärker an der convexen Seite. Alle diese Ursachen könnten sich aber sowohl gegenseitig verstärken als auch abschwächen, so dass jeder einzelne Fall eingehend studirt werden müsste. — R. Hartig[1]) billigt im Allgemeinen die Angaben von Mer betreffs der von ihm behandelten Einflüsse, hebt aber hervor, dass Mer auf den Drehwuchs nicht Rücksicht genommen habe. Ist ein Baum an keinem Punkte an der Beförderung der Bildungsstoffe in senkrechter Richtung behindert, dann folgen die Bildungsstoffe dieser Richtung, aus dem Theile der Baumkrone, in dem sie entstanden, senkrecht abwärts; anders, wenn die Elemente der Rinde in anderer Richtung angelegt wurden. R. Hartig hatte schon

1) Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 373.

wiederholt darauf hingewiesen [1]), dass die grösste Jahresringbreite eines Baumes keineswegs immer auf derselben Seite liegt, dass vielmehr ein Jahresring, wenn man ihn in verschiedenen Baumhöhen untersucht, je nach der untersuchten Baumhöhe einmal auf der Südseite, dann auf der West-, Nord- und Ostseite seine Maximalbreite zeigt. So würde die Thatsache, dass einseitig beästete Randbäume einen stärkeren Zuwachs auf der astlosen Seite zeigen können, sich vielfach aus dem Drehwuchs erklären.

Wir haben wiederholt hervorgehoben, was ja auch hinlänglich bekannt, dass die Coniferen-Aeste hyponastisch entwickelt sind, und wir fanden, bei annähernd gleicher Zahl von Jahresringen im Splint, demgemäss einen stärkeren Splint auf der Unter- als auf der Oberseite. Bei den Coniferen sind auch, wie das Kny [2]) im Anschluss an ältere Angaben besonders hervorgehoben hat, die Nadeln an der Unterseite horizontaler Seitenzweige deutlich grösser als auf der Oberseite, wodurch die Internodien innerhalb ihrer zenithwärts gekehrten Hälfte in den ersten Jahren benachtheiligt sind; es gelangen an der Unterseite auch mehr Achselknospen zur Entwicklung und diese wachsen zum Theil zu langen Sprossen aus, während die Oberseite der primären Aeste des Stammes und ihrer seitlich abgehenden Zweige nahezu unproductiv bleibt. Bei der Mehrzahl der Dicotylen ist es hingegen meist umgekehrt. Die älteren horizontalen und schiefgerichteten Aeste dicotyler Holzgewächse tragen in der Regel an der nach oben gerichteten Seite stärkere Seitenzweige. Ausserdem kommen aus der Oberseite meist reichlich Adventivsprosse hervor, die sich zum Theil kräftig fortentwickeln, während sie an der Unterseite sparsamer auftreten oder ganz fehlen [3]). Bei solchen Dicotylen sind demgemäss die Aeste epinastisch.

Das s. g. differenzirte Holz (rothes Holz, bois rouge) bei der Kiefer und Fichte ist nicht mit dem gleichfarbigen Kern-

---

1) Holz der deutschen Nadelwaldbäume, p. 41, 44—54; Holz der Rothbuche, 1888, p. 64. Ueber den Lichtzuwachs der Kiefer, Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, Januar 1888.

2) Sitzber. d. Gesellsch. naturf. Freunde zu Berlin, 1877, p. 38.

3) Ebendas. p. 37.

holz zu verwechseln. Es entsteht nach Emil Mer[1]) bei vermehrter Bildung von Spätholz und zwar bei verlangsamtem Wachsthum. Das Frühholz besteht alsdann oft nur aus einigen wenigen Tracheïdenreihen. Auch kann rothes Holz durch stärker activirte Vegetation bedingt sein, wenn sich dieselbe auf bestimmte Punkte concentrirt. So dominirt an den hyponastischen Zweigen der Kiefer und Fichte das rothe Holz an der Unterseite. Rothes Holz findet sich häufig ein an kräftigen Aesten, die sich aufgerichtet haben, um den verloren gegangenen Gipfelspross zu ersetzen, und zwar vornehmlich an der früheren Unterseite. So auch ist an der stärker entwickelten convexen Seite gekrümmter Stämme öfters rothes Holz vorhanden. Bei nahe stehenden Stämmen entwickelt sich leicht rothes Holz an der stärker wachsenden Seite dieser Stämme, welche sie von einander abkehren. Mer meint, es sei somit nicht genau zu behaupten, dass bei Coniferen die Masse des Spätholzes im Verhältniss um so grösser werde, je schmäler die Jahresringe seien, auch dürfe man nicht das rothe Holz als nur im „Herbst" entstanden ansehen, da es in ziemlich häufigen Fällen fast durch die ganze Vegetationszeit hindurch gebildet wird. Mer meint, im Resultat, dass rothes Holz sich dann bildet, wenn ein Ueberschuss von Nahrungsstoffen gegeben ist, und ganz unabhängig davon, ob der Zuwachs schwach oder sehr kräftig sei.

Meine Untersuchung des Bastes der Coniferen ergab zum Theil überraschende Resultate, denn sie stellte für denselben eine viel weiter gehende Arbeitstheilung fest, als sie bis jetzt allgemein angenommen wurde[2]). Man unterschied im Baste der Coniferen nur Siebröhren, Bastparenchym und gleichartig gebaute Markstrahlen, respective ausser diesen Elementen auch Sklerenchymfasern. Es stellte sich aber heraus, dass der Bast der Coniferen auch den Geleitzellen entsprechende Elemente führt. Diese Elemente bilden einen Bestandtheil der Markstrahlen oder des Bastparenchyms, oder auch gleichzeitig beider, und zeigen ganz bestimmte Beziehungen zu den Siebröhren,

---

1) De la formation du bois rouge dans le sapin et l'épicéa. Comptes rendus de l'Académie des sciences, 1887, T. CIV, p. 376.

2) Einige Ergebnisse dieser Untersuchung sind inzwischen in den Sitzungsberichten der Berliner Akademie der Wissenschaften im März dieses Jahres veröffentlicht worden.

die ihre Deutung über allen Zweifel erheben. Ja, gerade das Verhalten dieser, die Geleitzellen im Bast der Coniferen vertretenden Zellen, sowie die Beziehungen gewisser, später zu besprechender Elemente zum Siebtheil in den Blättern der Coniferen sind geeignet, über die Functionen der Siebröhren und deren Geleitzellen weiteres Licht zu verbreiten.

Das Gesammtergebniss meiner auf den Bast der Coniferen bezüglichen Untersuchungen lässt sich dahin zusammenfassen, dass bei den Abietineen die Functionen der Geleitzellen von bestimmten Markstrahl-Zellreihen, bei einem Theil der Cupressineen und Taxodineen von bestimmten Markstrahl-Zellreihen und von bestimmten Bastparenchym-Zellreihen, endlich bei einem anderen Theil der Cupressineen und Taxodineen, ausserdem bei den Taxineen und Araucarieen nur von bestimmten Bastparenchym-Zellreihen vollzogen werden. — Allen diesen in eine bestimmte Beziehung zu den Siebröhren tretenden parenchymatischen Elementen kommt gemeinsam zu, dass sie relativ plasmareich sind und im Höhepunkte ihrer Function keine Stärke führen; dass sie mit den Siebröhren zugleich in Thätigkeit treten, zugleich mit diesen sich auch entleeren und zusammenfallen, dass sie endlich allein durch besonders ausgebildete Tüpfel mit den Siebröhrengliedern in Verbindung stehen.

Da diesen parenchymatischen Elementen die Aufgabe zusteht, den Inhalt der Siebröhren aufzunehmen und weiter an andere Elemente abzugeben, dieser Inhalt aber aus eiweissartigen Stoffen besteht, so mögen diese den Geleitzellen entsprechenden Elemente hier kurz als eiweisshaltige Zellen bezeichnet werden.

Wo die eiweisshaltigen Zellreihen den Markstrahlen angehören, nehmen sie im Allgemeinen deren Ränder ein (Taf. I, Fig. 1 u. 2), können übrigens an höheren, einschichtigen Markstrahlen, wenn auch relativ selten, in mittleren Lagen vorkommen. Häufig ist eine solche Einschaltung nur bei Cedrus und Tsuga, und zwar dort in der vorwiegendeu Mehrzahl der Markstrahlen. Bei denjenigen Abietineen, deren Markstrahlen im Holzkörper eine doppelte Zusammensetzung zeigen, sieht man meist die tracheïdalen Elemente des Markstrahls sich im Bast in eiweisshaltige fortsetzen. Für gewöhnlich sind aber die eiweisshaltigen Zellreihen an den Rändern der Markstrahlen im Baste nur einfach, so dass an solchen Markstrahlen, deren Saum im Holzkörper aus einer doppelten oder mehr als dop-

pelten Reihe tracheïdaler Elemente aufgebaut war, nur die äusserste dieser Reihen im Bast in eiweisshaltige Zellen übergeht, die anderen hingegen sich dort in stärkeführende Zellen fortsetzen. Andererseits sieht man vielfach auch stärkeführende Zellreihen des Holzmarkstrahls an eiweisshaltige des Bastes ansetzen. Letzteres findet sehr häufig bei denjenigen Abietineen statt, die der tracheïdalen Markstrahlelemente im Holze entbehren, ferner bei den Araucarieen, Taxodineen und Cupressineen. Niemals sieht man aber, dass ein normaler, mit Stärke erfüllter einstöckiger Markstrahl des Holzkörpers sich in eine eiweisshaltige Zellreihe im Baste fortsetze. Das hängt mit dem Umstande zusammen, dass ja in der eiweisshaltigen Zellreihe die Stärke fehlt, die jenen Markstrahl im Holzkörper zu ernähren und zu füllen hätte. Hingegen ist nicht selten bei den Abietinieen, den Araucarieen, Taxodineen und Cupressineen zu beobachten, dass in der Verlängerung eines einstöckigen, eventuell zweistöckigen, eiweisshaltigen Markstrahls des Bastes, einer jener zerissenen oder entleerten Holzmarkstrahlen liegt, mit denen wir uns schon früher beschäftigt haben. Die schlechte Ernährung dieses Markstrahls nach der Holzseite hat dort eben eine unzureichende Zelltheilung, eine Dehnung der wenigen erzeugten Zellen, eventuell eine Lösung des Zusammenhanges zwischen denselben und für alle Fälle deren baldige Entleerung zur Folge gehabt. In der Cambiumzone der genannten Coniferen werden, und damit hängt die ganze Erscheinung zusammen, ein-, seltener zweistöckige, eiweisshaltige Markstrahlen eingeschaltet, die sich eventuell im Holzkörper in unvollkommen ausgebildeten Markstrahlen fortsetzen können. Die Gewebsmutterzellen solcher ein- bis zweistöckiger, eiweisshaltiger Markstrahlen schliessen, solange sie nur nach der Bastseite Elemente abgeben, im Cambium mit einer keilförmig zugeschärften Zelle ab, die nur nach aussen Elemente abgiebt. Beginnt aber eine solche cambiale Endzelle auch des eiweisshaltigen Markstrahls nach der Holzseite Elemente abzugeben, so gelangen ihre Nachkommen eben auch zwischen die Tracheïden. Diese Zellbildung nach der Holzeite erfolgt aber, unter allen Umständen, nur in sehr beschränktem Maasse, was eine Dehnung der an Zahl unzureichenden Elemente dort zur Folge hat. Unsere Figur 22, Taf. I, zeigt für Taxodium distichum einen eingeschalteten eiweisshaltigen Markstrahl, der sich in den Holzkörper nicht

fortsetzt. Das Präparat ist einem 43-jährigen, zur Winterzeit gefällten Stamme entnommen. Der eiweisshaltige Markstrahl schliesst am Holzkörper mit einer Zelle ab, die, sich verjüngend, bis zwischen die beiden letzten Spättracheïden greift. Im Querschnitt würde man auch die keilförmige Zuschärfung dieser Zelle sehen. In unserer Figur 23, Taf. II, die nach einem Präparate aus demselben Taxodium-Stamme entworfen ist, setzt sich der eiweisshaltige Rinden-Markstrahl in einen einreihigen, unvollkommenen Holz-Markstrahl fort, der in geringer Entfernung vom Cambium bereits eine Unterbrechung, und jenseits derselben nur noch leere Zellhüllen zeigt. Bei Taxodium ist es leicht, solche Bilder auf radialen Längsschnitten zu erhalten. Bei Abietineen bekommt man sie dort nur häufiger zu sehen, wo die Zahl der eingeschalteten, eiweissleitenden Markstrahlen im Baste relativ gross ist: so bei der Kiefer und der Lärche. Unsere Figur 21, Taf. I, ist der Lärche entnommen. Sie bezieht sich auf ein Präparat aus jenem schon wiederholt angeführten, über 100-jährigen Stamme, dessen Zuwachs nur noch ein sehr schwacher war. Das Bild zeigt auch den schroffen, damals erwähnten Uebergang von den sehr weiten Frühtracheïden zu den sehr engen Spättracheïden. Letztere weisen eine ringförmige tertiäre Verdickung auf. Der Stamm war im Winter gefällt, wie dem Bilde ebenfalls ohne weiteres zu entnehmen ist. Der eiweisshaltige Markstrahl schliesst nach der Holzseite zu mit einem stark gedehnten tracheïdalen Elemente ab. Sein cambiales Ende war erst im Laufe des letzten Jahres zur Bildung eines holzwärts gerichteten Elementes geschritten. — Aehnlich wie neue eiweisshaltige Markstrahlen in den Bast eingeschaltet werden, erhalten bei den Abietineen die vorhandenen Markstrahlen bei ihrem Uebergang vom Holz zum Bast nicht selten neue eiweisshaltige Zellreihen an ihrem Rande aufgesetzt. Diese Reihen sind als neu aufgesetzte nur so lange zu erkennen, als sie an der Holzgrenze endigen, ihre cambiale Endzelle somit nicht Elemente auch nach der Holzseite abgab. Hat aber die neue eiweisshaltige Zellreihe eine Fortsetzung nach der Holzseite erhalten, so kann sie auch in jener Richtung normale Markstrahlzellen liefern, da, von den anderen Markstrahl-Zellreihen aus, deren Ernährung möglich ist. Vielfach freilich erfolgt die Versorgung dieser Zellreihe, die nicht direct vom Baste aus ihre Nahrung schöpfen kann, nur mangelhaft, und

treten dann Erscheinungen ein, wie sie uns im Holze der Edeltanne aufgefallen, dass nämlich den Markstrahlrändern isolirte oder in kurzen Reihen fortlaufende leere Zellen aufsitzen. Das Hinzufügen neuer eiweisshaltiger Zellreihen an den Markstrahlrändern mit Eintritt in den Bast ist vornehmlich bei denjenigen Abietineen zu beobachten, denen, wie der Edeltanne, der tracheïdale Markstrahlsaum im Holzkörper fehlt, oder bei solchen, welche, wie die Ceder-Arten und wie Tsuga canadensis, diesen Saum nur vereinzelt oder in unvollkommenen Reihen ausbilden. Bei denjenigen Taxodineen und Cupressineen, welche ausser eiweisshaltigen Zellreihen in den Markstrahlen auch solche im Bastparenchym besitzen, sind eiweisshaltige Markstrahl-Zellreihen an den aus dem Holzkörper eintretenden Markstrahlen überhaupt eine Ausnahme. Es bleiben vielmehr diese Markstrahlen auch im Bast so gut wie ausschliesslich stärkehaltig, hingegen werden einstöckige eiweisshaltige Markstrahlen im Cambium eingeschaltet. Die Zahl dieser eingeschalteten eiweisshaltigen Markstrahlen ist wiederum je nach den Arten verschieden, im ganzen genommen aber nicht gross. Bei Taxodium wie bei Thuya orientalis waren im tangentialen Längsschnitt auf einen □ mm etwa nur 4 bis 8 solcher Markstrahlen anzutreffen. Die Aufgabe wird hier eben getheilt und zum grossen Theil von den in das Bastparenchym eingeschalteten eiweisshaltigen Zellen übernommen. Bei diesen Pflanzen, sowie bei denjenigen, die schliesslich nur noch im Bastparenchym eiweisshaltige Zellreihen besitzen, bilden dann Bastparenchym-Zellreihen nicht besondere tangentiale Bänder für sich, sind vielmehr in die stärkeführenden Bänder eingeschaltet. Es kann vorkommen, dass ein tangentiales Band auf eine grössere Strecke hin nur von eiweisshaltigen Zellen gebildet werde, für gewöhnlich sind aber stärke- und eiweissführende Zellen mit einander untermischt. Dieses zeigt sich nicht nur auf Querschnitten, sondern auch bei radialen und tangentialen Längsansichten. Zwar ist oft zu constatiren, dass in der Längsrichtung die eiweisshaltigen Zellen auf längere Strecken continuirlich fortlaufen, doch ebenso können ihre Reihen von eingeschalteten Stärkezellen unterbrochen sein, ja für einige Arten ist eine solche fortdauernde Mischung dieser Elemente auch in der Längsrichtung geradezu typisch. — Während diese Mischung von stärke- und eiweisshaltigen Zellen im Bastparenchym eine so allgemeine

ist, kommt dieselbe innerhalb der Markstrahlen so gut wie nicht vor. Nur ausnahmsweise findet man dort einzelne eiweisshaltige Zellen in stärkeführende Zellreihen eingestreut, und umgekehrt eine stärkeführende Zelle in einer eiweisshaltigen Zellreihe. Ja, in denjenigen Markstrahlen, die nur aus eiweisshaltigen Zellen bestehen, habe ich eine solche Unterbrechung durch stärkeführende Zellen überhaupt nicht beobachtet. Keine der eiweisshaltigen Bastparenchym-Zellreihen ist übrigens völlig isolirt, sie hängt vielmehr irgendwo mit einem Markstrahl zusammen.

In dem Baste der Abietineen pflegen sich die an den Markstrahlrändern angebrachten eiweisshaltigen Zellen durch grössere Höhe und einen geringeren radialen Durchmesser von den stärkeführenden Elementen auszuzeichnen. Die grössere Höhe fällt besonders zur Winterzeit an denjenigen Elementen auf, die sich innerhalb der cambialen Zone befinden; weniger ausgeprägt ist sie während der Zeit kräftiger Entwicklung, die mit einer raschen Ausdehnung der Elemente in radialer Richtung verbunden ist. Unsere Figuren 1 und 2, Taf. I, für Pinus silvestris, sind einem Holze entnommen, das während des Winters in Alcohol eingelegt worden war. Die erwähnten Verhältnisse treten uns daher prägnant in beiden Abbildungen entgegen. Die eiweissführenden Markstrahlzellen richten sich mit ihrem radialen Durchmesser nach der Breite der angrenzenden Siebröhren, wie das in unserer Figur 2 deutlich zu sehen ist. Sie schmiegen sich den Siebröhren gleichsam an, und in demselben Maasse, als mit der Entfernung vom Cambium der radiale Durchmesser der Siebröhren wächst, nimmt auch derjenige der eiweisshaltigen Markstrahlzellen zu. Die Uebereinstimmung in dem radialen Ausmaass zwischen Siebröhren und eiweisshaltigen Markstrahlzellen fällt nicht minder bei den andern mit solchen Zellen ausgestatteten Coniferen auf und ergiebt sich beispielsweise aus der Betrachtung unserer für Taxodium distichum entworfenen Figuren 22 und 23, Taf. I und II. Nicht minder wie die den Markstrahlrändern aufgesetzten, sind auch die, besondere Markstrahlen für sich bildenden eiweisshaltigen Zellen durch bedeutendere Höhe den stärkeführenden gegenüber ausgezeichnet. Andererseits erscheinen alle diese eiweisshaltigen Markstrahlzellen auch im tangentialen Längsschnitte schmäler als die stärkeführenden. — Die in das Bastparenchym eingeschalteten, eiweisshaltigen Zellen sind von ihren stärke-

führenden Nachbarinnen der Gestalt nach nicht verschieden, gestreckt tonnenförmig, wie jene. — Die eiweisshaltigen Elemente im Markstrahl wie im Bastparenchym fallen im Höhepunkt ihrer Thätigkeit durch ihren Plasmareichthum auf; zu jener Zeit enthalten sie auch keine Stärke. Wohl aber kann man in denselben zur Winterzeit Stärke finden, soweit sie sich innerhalb der cambialen Region befinden. Sehr auffällig trat mir ein solches Verhalten in den an den Markstrahl gebundenen eiweisshaltigen Zellen bei Pinus canariensis entgegen; ziemlich allgemein kommt es auch den dem Bastparenchym zugehörenden eiweisshaltigen Zellen zu. Zur Zeit der vollen Cambiumthätigkeit fehlt hingegen auch den in der Anlage begriffenen, für Eiweissaufnahme bestimmten Zellen die Stärke. Vielfach, wenn auch nicht immer, fallen die Zellkerne der eiweisshaltigen Elemente durch ihre bedeutende Grösse, gegenüber denjenigen der stärkeführenden auf.

Während die stärkeführenden Zellen des Markstrahls unter einander und mit den stärkeführenden Zellen des Bastparenchyms durch flache Tüpfel communiciren, und solche Tüpfel, wenn auch weniger gross, von den stärkeführenden Markstrahl- und Bastparenchymzellen auch nach den Bastfasern, wo solche vorhanden, führen, fehlt jede Verbindung durch Tüpfel zwischen dem stärkeführenden System und den eiweisshaltigen Zellen, diese mögen nun nur im Markstrahl, oder nur im Bastparenchym, oder in beiden vertreten sein. Ebenso wenig war irgendwo eine Verbindung durch Tüpfel zwischen den eiweisshaltigen Zellen und den Bastfasern nachzuweisen. Weiter muss hervorgehoben werden, dass von den Siebröhren aus keinerlei erkennbare Tüpfelung nach den stärkeleitenden Elementen und den Bastfasern führt. Hingegen stellt man, vornehmlich bei den Abietineen, auf tangentialen Längsschnitten unschwer fest, dass die Siebröhren Siebtüpfel nach den eiweisshaltigen Zellen des Markstrahls zu entwickeln. Russow war dieses Verhalten nicht ganz entgangen, doch bemerkt er nicht, dass es um eine ganz besondere Art von Markstrahlzellen hierbei sich handle. Er giebt von diesen Siebtüpfeln an, dass sie nur an der Siebröhrenseite entwickelt sind und an der Mittellamelle aufhören. Die entsprechende Stelle bei Russow, die einzige mir bekannt gewordene, welche das Verhältniss der Siebröhren zu Markstrahl-

elementen bei den Abietineen streift, lautet wörtlich[1]): „Zuweilen, aber im Ganzen doch selten, bilden sich in der Wand der Siebröhre dort, wo diese an eine Baststrahlzelle grenzt, Siebtüpfel aus, doch sind diese nicht perforirt, und nur von der Siebröhrenseite dringen Callusstäbe bis zur Mitte der gemeinsamen Membran vor, in der keine Knötchen wahrzunehmen sind.“ — Bei gewissen Abietineen sind, wie meine Untersuchungen mir zeigten, die aus den Siebröhren zu den eiweisshaltigen Zellen führenden Siebtüpfel unschwer zu finden, wenn man mit Anilinblau tingirtes Alcohol-Material auf tangentialen Längsschnitten untersucht. Besonders schön habe ich sie bei Picea excelsa und Larix europaea gesehen. Unsere Figuren 5 bis 10, Taf. I, führen sie für Pinus silvestris, 15 und 16, Taf. I, für Picea excelsa, 18 bis 20, Taf. I, für Larix europaea vor. Der Angabe von Russow, dass es sich hierbei um einseitig entwickelte Siebtüpfel handle, kann ich nur beipflichten. Ausser bei den Abietineen habe ich Siebtüpfel zwischen Siebröhren und eiweisshaltigen Markstrahlzellen bei Taxodium distichum und Thuya occidentalis gesehen und glaube sicher, dass sie, wenn auch vielleicht nicht so ausgeprägt entwickelt, überall sich werden nachweisen lassen, wo eiweisshaltige Markstrahlzellen vorhanden sind. Zwischen Siebröhren und longitudinal verlaufenden eiweisshaltigen Zellen dürften dieselben auch nicht in denjenigen Fällen fehlen, wo diese Zellen etwas grössere, dickere Wände besitzen. Gefunden habe ich dieselben unter solchen Umständen sehr schön entwickelt bei den Araucarieen. Die nach den eiweisshaltigen Zellen führenden Siebtüpfel sind dort kleiner als diejenigen, welche die Siebröhren verbinden, aber, namentlich bei Dammara australis, von überaus deutlicher Structur. Da ist denn, wie unsere Figuren 35 und 36, Taf. II, zeigen, in Uebereinstimmung mit Russow zu constatiren, dass die Callusstäbchen nur bis zur Mittellamelle gehen, die freilich weit näher dem Lumen der eiweisshaltigen Zelle als der Siebröhre liegt, andererseits kann man aber, entgegen Russow, feststellen, dass in der Mittellamelle die Knötchen an den Enden der Callusstäbchen nicht fehlen. Bei den Taxodineen, doch auch in anderen Fällen, fällt die starke Porosität der Querwände zwischen den in der

1) Ueber den Bau und die Entwicklung der Siebröhren, Sitzber. d. Dorp. naturf. Gesellsch., 1882, p. 274.

Längsrichtung auf einander folgenden eiweisshaltigen Zellen auf (Taf. II, Fig. 27).

Jenseits der thätigen Siebröhrenregion werden die eiweisshaltigen Zellen stets entleert, und hält diese Entleerung mit derjenigen der Siebröhren gleichen Schritt. Der Entleerung der eiweisshaltigen Zellen geht eine Abnahme ihres protoplasmatischen Inhalts voraus. Dieser schwindet schliesslich, wobei auch der Zellkern der Zelle zerfällt. Vielfach, wenn auch nicht immer, wird von der Siebröhre aus bei den Abietineen und Araucarieen dem einseitigen Siebtüpfel eine Callusplatte aufgesetzt (Taf. I, Fig. 9, 10, 18; Taf. II, Fig. 38). Niemals wird hingegen eine solche im Innern der eiweisshaltigen Zelle gebildet. Die Auflösung der Calli, auch der an den eiweisshaltigen Zellen befindlichen, folgt erst auf die Entleerung der Siebröhren und auch der eiweisshaltigen Zellen. Die einseitigen Siebtüpfel sind an den etwas gequollenen Wänden der entleerten eiweisshaltigen Zellen oft besser wie zuvor zu unterscheiden. Die entleerten eiweisshaltigen Zellen sinken zusammen, wobei sich ihre Wandung von den angrenzenden stellenweise trennen kann (Taf. I, Fig. 11, 12). Ein Zusammensinken der entleerten eiweisshaltigen Zellen findet ganz in derselben Weise auch im Bastparenchym statt (Taf. II, Fig. 25 bis 27); Lostrennungen der Wand habe ich dort nicht beobachtet.

Während die eiweisshaltigen Zellen ausserhalb der activen Siebröhrenzone sich entleeren, nehmen die stärkeführenden Zellen dort an Umfang zu, wobei sie sich abrunden. Die Abrundung hat im Markstrahl oft eine mehr oder weniger vollständige Trennung von den entleerten Nachbarelementen zur Folge. Am weitesten gehend fand ich diese Trennung bei den Markstrahlen der untersuchten Aeste von Cedrus Libani und im Stamm und in den Aesten von Tsuga canadensis. Dort waren die Markstrahlen so gut wie vollständig von dem ganzen entleerten Siebröhrengewebe getrennt und nur an den stärkeführenden Zellen des Bastparenchyms befestigt. Da Cedrus und Tsuga diejenigen Abietineen sind, welche die meisten in das Innere der Markstrahlen eingeschalteten eiweisshaltigen Zellreihen aufzuweisen haben, so erschien der Markstrahl nach Entleerung dieser Zellreihen auch wohl in mehrere übereinander liegende, stärkeleitende Bänder zerlegt.

Auch innerhalb der Bastzone werden die Markstrahlen von Intercellularen begleitet, welche von den Markstrahlen aus die stärkeleitenden Elemente des Bastparenchyms begleiten. Die Intercellulargänge an den Markstrahlseiten, eventuell bei gleichartig zusammengesetzten Markstrahlen auch längs der Kante, erreichen im Bast oft sogar stärkere Entwicklung als im Holz. Zwischen den aufeinander folgenden Stockwerken stärkeführender Zellreihen des Markstrahls und, bei mehrschichtigen Markstrahlen, auch zwischen ebensolchen seitlich an einander stossenden Zellreihen fehlen die Intercellulargänge fast nie, sie können hingegen fehlen zwischen den Zellen eines stärkeführenden und eines eiweissführenden Stockwerks. Die eiweisshaltigen Zellreihen einstöckiger Markstrahlen werden von Intercellularen nicht begleitet; ebenso fehlen diese zwischen den beiden Stockwerken, falls der eiweisshaltige Markstrahl zwei Zellen hoch ist. Die Intercellulargänge der Markstrahlen durchsetzen das Cambium, wenn sie sich dort auch häufig verengen, und bilden so mit den Intercellularen der Holz-Markstrahlen und des Holz-Parenchyms ein zusammenhängendes Ganze. Die Vergrösserung und Abrundung der stärkeführenden Elemente in den älteren Basttheilen hat dort eine entsprechende Vergrösserung der Intercellularen zur Folge, dieselben münden nach aussen in die mit lufthaltigen Intercellularen ausgerüsteten Phellodermlagen, die jedes Phellogen, wenn auch in geringer Menge, nach innen bildet. Die Intercellularen des Phelloderms hängen aber durch Lenticellen mit der äusseren Atmosphäre zusammen, falls nicht, wie beispielsweise bei Pinus silvestris, die Lenticellen fehlen, wo alsdann der Gasaustausch sich zwischen den Rändern der seitlich begrenzten, im Ganzen nicht sehr breiten Peridermblätter vollziehen muss.

Die Siebröhren der Coniferen stellen bekanntlich lange, prismatische Zellen dar, die sich an ihren Enden radial einseitig zuschärfen. Sie gleichen in ihrer Länge annähernd derjenigen der Tracheïden desselben Stammtheils. Trotz ihrer Weichheit und Biegsamkeit sind die Wände dieser Siebröhren doch resistent genug, um sich bei Abschälen der Rinde von anderen Elementen des secundären Zuwachses zu trennen und isoliren zu lassen. Schneidet man bei Pinus silvestris schräg in die secundäre Rinde ein, als wenn man einen tangentialen Längsschnitt führen wollte, und reisst nun das Stück ab, so ragen

aus dessen Enden die Siebröhren lang hervor. Die geneigten Endflächen, mit welchen die Siebröhren auf einander stossen, sind dicht mit Siebtüpfeln besetzt. In geringerer Anzahl finden sich die Siebtüpfel an den radialen Seitenrändern, mit denen sich die neben einander liegenden Siebröhren berühren. Es tritt uns hier somit ein ganz ähnliches Verhältniss wie bei den Strangtracheïden entgegen: die Bevorzugung der terminalen Flächen bei der Tüpfelung weist auf eine vorwiegend longitudinale Stoffleitung in diesen Röhren hin, die Localisirung der Tüpfelung auf die radialen Wände beweist andererseits, dass ein Substanzaustausch zwischen benachbarten Siebröhren nur in tangentialer Richtung nothwendig ist. Während nun in den Strangtracheïden auch ein radialer Austausch des Inhalts möglich bleibt und zum Theil durch Ausbildung tangential orientirter Tüpfel erleichtert wird, fällt die Möglichkeit eines radialen Substanzaustausches für die Siebröhren in allen denjenigen Fällen ohne weiteres fort, wo diese Siebröhren in radialer Richtung durch andere Elemente getrennt werden. Eine solche radiale Trennung ist aber constant bei allen Taxodineen, Cupressineen und Taxineen. Aber auch dort, wo die Siebröhren radial auf einander stossen, weist keinerlei Einrichtung auf die Existenz eines radialen Stoffaustausches hin. Einen tangential orientirten Siebtüpfel hat Russow nur ein einziges Mal bei Larix europaea beobachtet [1]), ich selbst habe solche Tüpfel nie gesehen. — Aehnlich wie die Strangtracheïden, stehen auch die seitlich einander berührenden Siebröhren nicht in gleicher Höhe, während die unmittelbar oder mittelbar radial auf einander folgenden, der Hauptsache nach, dieselbe Höhe einhalten. Auch jedes Siebröhrenglied kommt, wie jede Strangtracheïde, mit mindestens einem Markstrahl in Berührung. Von Bedeutung kann diese Berührung für die Siebröhrenglieder jedoch nur in denjenigen Fällen sein, in welchen die Markstrahlen eiweissführende, zur Aufnahme des Inhalts der Siebröhren eingerichtete Zellreihen führen. Mit diesen sind ja die Siebröhren auch nur allein durch die einseitigen Siebtüpfel verbunden. Auch in denjenigen Fällen, wo die eiweisshaltigen Zellen auf Markstrahlen oder Bastparenchym vertheilt oder nur auf letzteres beschränkt sind, lässt sich annehmen, dass

1) l. c. p. 283.

jede Siebröhre mit diesen Zellen in Verbindung steht: der Nachweis hierfür ist freilich schwer zu erbringen.

Was den Bau der Siebtüpfel der Coniferen anbetrifft, so kann ich im Wesentlichen dasjenige bestätigen, was Russow über dieselben angiebt [1]). Die Felder der Siebtüpfel völlig ausgebildeter Siebröhren werden von einer Anzahl von Callusstäbchen durchsetzt, welche an ihrem, dem Zelllumen zugekehrten Ende knopfförmig angeschwollen erscheinen. Diese Callusstäbchen sind, von den beiden Seiten der Siebplatte her, genau gegen einander gerichtet, kommen aber nicht zur Berührung, werden vielmehr von je einem stärker das Licht brechenden Knötchen getrennt, in welchem ich gequollene Stellen der primären Schliesshaut erblicke [2]). Die am schönsten entwickelten Siebplatten, mit relativ leicht zu verfolgenden Structurverhältnissen, sind mir bei Dammara australis entgegengetreten, und so können denn meine Figuren 33 und 34, Taf. II, zur Illustration meiner Angaben dienen. Bei Dammara australis war es auch unschwer zu constatiren, dass die zuvor schon berührten, nicht unwesentlich kleineren Siebtüpfel zwischen Siebröhren und eiweisshaltigen Bastparenchymzellen (Taf. II, Fig. 35, 36) nur einseitig entwickelt sind. Die geringere Wanddicke dieser Bastparenchymzellen bedingt es aber, dass die Mittellamelle der Siebplatte dem Lumen der Bastparenchymzelle näher liegt; dementsprechend sind auch die Knötchen der Mittellamelle in dieser Richtung verschoben. Dass aber solche Knötchen auch hier an den Enden der Callusstäbchen sich befinden, ist mit aller Sicherheit festzustellen. Von der eiweisshaltigen Bastparenchymzelle aus führen nach diesen Knötchen ganz feine Poren, die von einem sehr zarten Plasmafaden erfüllt zu sein scheinen, den zu sehen nur annähernd sicher gelingt. Diese feinen Plasmafäden an der Bastparenchymzellseite werden in keinem Falle in Callussubstanz verwandelt. Daher kommt es auch, dass an der Bastparenchymzellseite auch nie-

---

1) Ueber den Bau und die Entwicklung der Siebröhren. Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 257. Vergl. auch E. v. Janczewski, Études comparées sur les tubes cribreux, Mém. de la Soc. des sc. nat. de Cherbourg, Vol. XXIII, p. 257. E. Strasburger, Bau und Wachsthum der Zellhäute, p. 57, und Bot. Pract., II. Aufl., p. 145.

2) Aehnlich schon Janczewski, l. c. p. 270.

mals eine Callusplatte auftritt. — Die in den fertigen Siebröhren als Callusstäbchen sich zeigenden Gebilde, die alsdann auch Anilinblau begierig aufnehmen und festhalten, sind an jüngeren Siebröhren zunächst feinkörnig und gehen erst weiterhin in Callussubstanz über. Von dieser ursprünglich körnigen Beschaffenheit der Stäbchen überzeugte mich zunächst das Alcoholmaterial der alten, im Winter gefällten Lärche, an welcher ich auch am vollständigsten die ganze Entwicklungsgeschichte der Siebtüpfel verfolgen konnte. Diese Entwicklungsgeschichte ist überhaupt bei Abietineen leichter solchem Material abzugewinnen, welches im Winter in Alcohol eingelegt wurde, da thatsächlich während der Winterruhe mehr intermediäre Zustände unfertiger Siebröhren anzutreffen sind, als während der Vegetationszeit. Hierauf macht auch Russow bereits aufmerksam [1]), hervorhebend, dass bei Abietineen [2]) die cambialen Gewebsmutterzellen im Sommer ziemlich scharf gegen annähernd fertige Siebröhren absetzen, die Ausbildung derselben somit gewissermaassen sprungweise erfolgt, während im Winter dieser Uebergang allmählicher ist. Umgekehrt sieht es, zu den gleichen Zeiten, in der Richtung des Holzkörpers aus, da sind im Sommer die Gewebsmutterzellen durch alle Uebergangsstufen mit fertigen Strangtracheïden verbunden, während im Winter die fertigen Spättracheïden unmittelbar an die Initialschicht des Cambiums grenzen. — Es hängt das mit einer, wie mir scheint, bis jetzt übersehenen Einrichtung zusammen, die nicht allein für Coniferen, sondern für die Holzgewächse überhaupt gilt, dass nämlich zu Beginn der Vegetationszeit zunächst die Holzbildung, erst später die Bastbildung gefördert wird, erstere auch früher als die letztere erlischt. Es gilt eben zunächst, neue Bahnen für den Transspirationsstrom nach den sich entfaltenden Blättern, und hierauf erst die Behälter für die Assimilate, die von diesen Blättern geliefert werden sollen, zu schaffen. Auch hier ist es das vorhandene Bedürfniss, welches als specifischer Reiz auf die Cambiumthätigkeit wirkt, zunächst somit die Bildung neuer Wasserbahnen, dann, wenn für diese gesorgt ist, besonders der

1) l. c. p. 277.

2) Dieselbe Erscheinung soll nach Russow auch sämmtlichen dicotylen mit Cambiumring wachsenden Holzgewächsen zukommen, l. c. p. 278.

mechanischen Elemente und schliesslich vorwiegend, wenn nicht ausschliesslich, der Bahnen und Behälter für die Reservestoffe veranlasst. Bei den Abietineen hält die Bildung dieser Reservestoffbahnen und Behälter, so weit ich das bis jetzt beurtheilen kann, so lange an, als die Bedingungen für die Assimilation gegeben sind. In dem Maasse aber, als diese Bedingungen sich ungünstiger gestalten, verlangsamt sich sowohl die Thätigkeit des Cambiums als auch die weitere Ausgestaltung der angelegten Gewebszellen, daher der winterliche Zustand so viele Uebergangsstufen darbietet. Nur bei Juniperus communis und in dem Schafte alter Stämme von Taxus baccata (andere Beispiele sind mir bis jetzt nicht bekannt geworden) schliessen auch von der Bastseite her fertige Elemente im Winter der Initialschicht des Cambiums an [1]). Doch habe ich mich auch für Juniperus communis überzeugen können, dass diese Elemente dort später als die letzten Tracheïden des Jahresringes fertig gestellt werden, und nicht anders verhält es sich bei Taxus baccata. Ein principieller Gegensatz ist aber in diesem abweichenden Verhalten nicht gegeben, und während der Schaft von Taxus baccata im Winter einen schroffen Gegensatz zwischen Cambium und fertigem Bast bietet, ist in seinen Zweigen der Uebergang meist durch mehrere unfertige Elemente vermittelt. So auch findet man, dass der dem Juniperus communis in seinem Bau so nah verwandte Juniperus chinensis sich im Winter an der Bastgrenze nicht wie jener, sondern wie die vielen anderen Coniferen verhält. Im Allgemeinen ist aber die Zahl der den Uebergang an der Bastseite während des Winters vermittelnden Elemente bei den Abietineen und Araucarieen grösser als in den nach gemeinsamem Typus im Bast gebauten Taxodineen, Cupressineen und Taxineen. Bis zu einem gewissen Maasse mögen auch die Witterungsverhältnisse im Herbst noch die Zahl der Uebergangsglieder, eventuell selbst das Fehlen derselben an der Bastseite beeinflussen. — Der scharfe Absatz

1) Vergl. auch die Abbildung bei de Bary, Vergl. Anat., Fig. 209, p. 509. Auf diese Abbildung Bezug nehmend, bemerkt de Bary: „Im einfachsten Falle liegt zwischen fertigen Bast- und Holzelementen nur die einfache Initialschicht; in exquisiter Form habe ich dies nur bei Juniperus communis beobachtet“, p. 482.

annähernd fertiger Siebröhren gegen das Cambium, der im Sommer bei den Abietineen auffällt und der Russow zur Annahme einer gleichsam sprungweise erfolgenden Entwicklung der Siebröhren während der Vegetation veranlasst, erklärt sich andererseits nicht allein aus der rascheren Fertigstellung dieser Elemente im Sommer, sondern auch der spärlichen Anlage derselben zu jener Jahreszeit. — Aehnlich wie bei Coniferen sieht man im Allgemeinen auch im Schafte unserer dicotylen Bäume im Winter den Holzkörper mit fertigen Elementen scharf gegen das Cambium absetzen, während der Uebergang nach dem Baste hin durch unfertige Elemente vermittelt wird. Die Ursache dieser Erscheinung ist dort die nämliche wie bei Coniferen.

Die Angabe von Russow [1]), dass die Cambiumzellen der Coniferen mehrere Zellkerne führen, kann ich nicht bestätigen; es gilt das weder für die Elemente der Initialschicht, noch für die noch theilungsfähigen Gewebsmutterzellen. Alsbald findet aber in den jüngeren Siebröhren eine Vermehrung der Kerne statt, so dass deren Zahl auf zwei oder vier, seltener auf drei anwächst. In den jüngeren Strangtracheïden werden andererseits Anläufe zu einer Fragmentation des Zellkernes genommen, die aber nur selten zu einer wirklichen Trennung in mehrere Theile führen. In den jüngeren Siebröhren schwinden die Zellkerne zu der Zeit, wo die Bildung der Siebtüpfel im Gange ist. Dabei schrumpfen diese Zellkerne entweder zusammen und werden stark lichtbrechend vor ihrem Zerfall, oder sie verlieren ihren Inhalt und erscheinen wie Blasen, die sich weiterhin desorganisiren. Das letztere kann man bei der Lärche beobachten. Ein dünner protoplasmatischer Wandbelag bleibt in den Siebröhren zurück und zeigt sich nur an den Stellen angeschwollen, wo die Siebtüpfel liegen. Dass der Inhalt der Siebröhren bei den Coniferen relativ sehr wässrig ist, hat schon de Bary hervorgehoben [2]); in dieser wässrigen Flüssigkeit sieht man, vornehmlich an den Enden der Glieder, flockige Massen angesammelt, die nach Jodbehandlung weinrothe Färbung annehmen [3]).

---

1) l. c. p. 282.

2) Vergl. Anat., p. 188.

3) Russow, Ueber die Entwicklung der Hoftüpfel etc., Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1881. Sep.-Abdr. aus der Dörptschen Zeitung, 1881, p. 4.

Auch sind kleine, sich weinroth färbende Körnchen in dem Inhalte vertheilt, und sie dürften es auch sein, welche den Ursprung den flockigen Massen geben. Ebenso sieht man im Wandbelag sich mit Jod gelb färbende Körnchen, die schon de Bary bemerkte [1]) und die ich für Leucoplasten halte. Diese sind es, welche die sich weinroth färbende, der Stärke jedenfalls nah verwandte Substanz bilden. Solche Leucoplasten hat auch vor kurzem A. Fischer [2]) als „kleine glänzende Tröpfchen" in dem feinkörnigen Protoplasma der Siebröhren von Anchusa officinalis, Coleus, Iva xanthiifolia und Oenothera biennis geschildert. Er giebt richtig an, dass sich diese Gebilde mit Jod stark färben. — Schleimansammlungen lassen sich bei den Coniferen nur an den Siebtüpfeln in geringen Mengen constatiren. Der Umstand, dass bei allen Coniferen eine bedeutende, durch den Theilungsvorgang geförderte Vermehrung der Kernsubstanz, der Auflösung der Kerne vorausgeht, legt den Gedanken nahe, dass es bei diesem Vorgang in der That auf eine Vermehrung von Kernsubstanz in dem Siebröhreninhalte ankomme.

Die Primordialtüpfel, die, wie Russow gezeigt hat [3]), das Cambium durchsetzen und die man einerseits in die Hoftüpfel der Strangtracheïden, andererseits in die Siebtüpfel der Siebröhren verfolgen kann, lassen an den jungen Siebröhrengliedern als erste Veränderung eine feine Punktirung erkennen. Die Punkte sind in kleine Gruppen vereinigt und in jeder Gruppe annähernd im Kreise gestellt; die einzelnen Gruppen bilden je ein Feld der Siebplatte. Der Vergleich von Flächen- und Querschnittsansichten lehrt, dass die Punkte feinen, mit Plasmafädchen erfüllten Poren entsprechen. Die zunächst äusserst zarten Plasmafädchen werden weiterhin etwas dicker und in dem Maasse, als die Verdickung der Siebplatte fortschreitet, auch länger, und bieten im Augenblick, wo diese Verdickung vollendet ist, dasjenige Bild dar, welches ich in meinem botanischen Practicum zur Darstellung gebracht habe [4]). In diesem Stadium halten die feinen Fäden das Anilinblau noch nicht fest und

1) Vergl. Anat., p. 188.

2) Berichte der Deutsch. Bot. Gesellsch., 1885, p. 230.

3) Ueber den Bau und die Entwicklung der Siebröhren, Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 279.

4) II. Aufl., p. 148, Fig. A.

bleiben daher untingirt in Präparaten, welche sie in den nächstfolgenden Zuständen mit schön blauer Farbe hervortreten lassen. Um diese Zeit haben die Siebröhren ihre Zellkerne bereits eingebüsst, führen aber noch reichlichen Inhalt. Dieser Zustand geht rasch vorüber und die feinen Plasmafäden, welche die Porenkanäle der Siebplatte füllen, werden in Callussubstanz verwandelt. Bei dieser Umwandlung gewinnen die Fäden an Dicke und bilden nun die Callusstäbchen, die wir im Anfang geschildert haben. Ist der Schnitt nicht sehr zart, so wird es jetzt oft schwer, die einzelnen Callusstäbchen innerhalb eines Feldes zu unterscheiden, und man ist geneigt, sie für einen einzelnen Calluspfropf zu halten. Die Köpfchen der Callusstäbchen schwellen alsbald an und vereinigen sich innerhalb je eines Feldes zu einem einzigen Köpfchen. Die Verschmelzung setzt sich auf die Köpfchen der ganzen Siebplatte fort, und ein einziger halbkugeliger Callus deckt bald dieselben. In den Enden der Siebröhren, wo die Siebtüpfel gedrängt stehen, pflegt es zu einer Vereinigung aller Platten zu kommen, so dass ein continuirlicher Belag entsteht. Oft erkennt man deutlich in diesen Callusplatten Streifen, welche auf die Siebporen hinführen [1]). Die Callusplatten werden vornehmlich einseitig, oder doch von der einen Seite des Siebtüpfels weit stärker als von der anderen ausgebildet. Namentlich stellt sich eine solche ungleiche Entwicklung an den Enden der Siebröhren ein. Dass aber eine bestimmte Regelmässigkeit in der Reihenfolge der Bevorzugung dieser oder jener Seiten der Siebröhrenglieder sich offenbaren und auf bestimmte Richtungen der Stoffleitung etwa hinweisen sollte, habe ich nicht feststellen können. Mit Fertigstellung der Callusplatten ist die Aufgabe der Siebröhren vollendet. Ihr gesammter Inhalt hat sich in der Callusbildung erschöpft, und die ganze Röhre erscheint nun, von den Calli abgesehen, leer. Es vergehen annähernd zwei Jahre, bis dass alle diese Vorgänge vollzogen sind. Weiterhin, oft erst nach Ablauf einiger Jahre, werden die Callusplatten aufgelöst, und die leeren Siebplatten bleiben allein zurück. In der Flächenansicht erkennt man auch jetzt in jedem leeren Felde ein feines Netzwerk: die Grenzen der entleerten Siebporen. Von den Knötchen, welche die Plasmafäden und weiterhin die

1) Vergl. auch Russow, l. c. p. 273.

Callusstäbchen trennten, konnte Russow nichts mehr an leeren Siebplatten erkennen [1]), und auch mir wollte dies nicht gelingen. Sind, wie ich annehmen muss, die Knötchen innerhalb der thätigen Siebplatte gequollene Stellen der Schliesshaut, so würde sich aus dem Vorhandensein derselben ein Geschlossensein der thätigen Siebporen ergeben. Eine solche Annahme hält Russow für unwahrscheinlich [2]). Ich selbst glaube hingegen, dass die Thatsache des Vorhandenseins der Knötchen die Frage ohne weiteres im Sinne des Geschlossenseins entscheidet. Denn es liesse sich nach diesem Befunde doch im besten Falle nur annehmen, dass weit feinere Plasmafäden, als die die Siebporen füllenden, die Knötchen durchsetzen. Ob viel mit so zarten Fäden für den directen Stoffverkehr gewonnen wäre, möchte ich aber bezweifeln. Eine Annahme solcher Fäden halte ich aber auch nicht für nöthig, ebensowenig als mir die theoretischen Erwägungen berechtigt erscheinen, welche das Vorhandensein offener Poren hier durchaus verlangen. Bei der wässrigen Beschaffenheit des Siebröhreninhalts der Coniferen mag diejenige Wegsamkeit der Siebporen, wie sie durch Einschaltung äusserst dünner, gequollener Schliesshäute gegeben ist, ausreichen, ja nothwendig sein. Wir müssen nämlich festhalten, dass es sich innerhalb der Siebröhren nicht um die Fortleitung einer lebendigen Substanz, sondern einer wässrigen Lösung handelt, und dass eine solche auch innerhalb der Strangtracheïden der Coniferen sich durch die Schliesshäute der Tüpfel bewegt. Die dichtere Beschaffenheit des Inhalts der Siebröhren bei den meisten Angiospermen mag hingegen die Ausbildung der dort gegebenen leichteren Verkehrswege verlangen. — Durch die Auflösung ihrer Zellkerne nähern sich die Siebröhrenglieder den Tracheïden und Gefässgliedern des Holzkörpers, während sie sich durch das Fortbestehen ihres protoplasmatischen Wandbelags grundsätzlich von denselben unterscheiden. Die Erhaltung dieses Wandbelags mag aber nothwendig sein, damit die in den Siebröhren enthaltenen Stoffe nicht in die benachbarten, einen abweichenden Inhalt führenden Elemente diffundiren. Mit der Umwandlung der Plasmafäden der Siebplatten in Callusstäbchen scheint mir der Höhepunkt der Function der Sieb-

---

1) l. c. p. 271.
2) l. c. p. 272.

röhren erreicht zu werden; es handelt sich weiterhin, bei Ausbildung der Callusplatten, augenscheinlich nur noch um die Ablagerung eines Productes, das von den eiweisshaltigen Parenchymzellen nicht aufgenommen wird, innerhalb der Siebröhren aber dazu dient, die Siebtüpfel zeitweise abzuschliessen. Dass dieser Verschluss nur eine Zeitlang nöthig ist, das zeigt das spätere Schwinden der Calli in den collabirenden Siebröhren der Rinde. Die in den Blättern der Coniferen gebildeten Calli werden sammt diesen abgeworfen, was die Ansicht Russow's stützt, dass der Callus nicht die Bedeutung eines Reservestoffs habe [1]). Welche Verwendung die Substanz der Calli in der Rinde findet, mag dahingestellt bleiben. In die eiweissleitenden Parenchymzellen können, wie schon gesagt, die Calli nicht aufgenommen werden, denn diese Zellen sind lange schon vor Auflösung der Calli collabirt; die Substanz der Calli könnte somit nur den stärkeführenden Parenchymzellen, von welchen die entleerten Siebröhren umgeben werden, irgendwie zu Gute kommen. Auch bei den Angiospermen werden die Calli mit den Blättern abgeworfen und verbleiben auch in den oberirdischen, absterbenden Sprossen der Stauden [2]); hingegen werden sie auch in der Rinde der Angiospermen wieder aufgelöst.

Die entwicklungsgeschichtlichen Daten, die ich für die Siebröhren der Lärche zunächst gewonnen und welche die Grundlage für die vorausgehende Schilderung bildeten, habe ich hierauf auch für Dammara bestätigen können, an Material von einem starken Aste, der im Winter in Alcohol eingelegt worden war. Die Entwicklungsvorgänge in den Siebröhren von Larix und Dammara stimmten bis in alle Einzelheiten überein.

Wie wir zuvor schon gesehen haben, werden in den Siebtüpfeln, welche Siebröhren und eiweisshaltige Zellen verbinden, Callusstäbchen von der Seite der Siebröhre entwickelt; es unterbleibt auch in der eiweisshaltigen Zelle hierauf jede Anlage einer Callusplatte. Eine solche wird hingegen für gewöhnlich, wenn auch nicht immer, bei den Abietineen wie auch Araucarieen an der Seite der Siebröhre erzeugt (Taf. I, Fig. 9, 10, 18; Taf. II, Fig. 38).

---

1) Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 325.
2) Ebendas. p. 326.

Die Art der Vertheilung der eiweisshaltigen Parenchymzellen im Baste der Coniferen beweist auf das unwiderleglichste, dass nicht diese Elemente, sondern allenfalls nur die Siebröhren die Leitung der zur Protoplasmabildung nothwendigen Stoffe auf weitere Strecken besorgen könnten. Dass die eiweisshaltigen Parenchymzellen nicht zu einer solchen Aufgabe taugen, das zeigen bei Coniferen vor allem diejenigen Fälle, wo jene Zellen ausschliesslich an Markstrahlen gebunden sind, also nur in querer Richtung verlaufen. Doch auch dort, wo sie in der Längsrichtung den Siebröhren folgen, bilden sie nicht continuirliche Stränge wie diese, sondern nur längere oder kürzere, unzusammenhängende Zellreihen. Diese Zellreihen somit müssen stets mit den Markstrahlen communiciren, um denselben die von den Siebröhren übernommenen Substanzen zu übermitteln. Wo die eiweisshaltigen Bastparenchymzellen mit breiten Flächen den Siebröhren anliegen und dünnwandig bleiben, scheint die Ausbildung besonderer, den Substanzübertritt erleichternder Stellen an den Wänden nicht nothwendig zu sein. Werden die eiweisshaltigen Parenchymzellen aber etwas dickwandiger, so wie dies etwa bei den Araucarieen der Fall ist, da sind auch die einseitigen Siebtüpfel nothwendig. Für eine gute Verbindung zwischen den Siebröhren und den eiweisshaltigen Parenchymzellen muss aber vor Allem da gesorgt werden, wo die Contactflächen beider nicht gross sind, in den Fällen also, wo die eiweisshaltigen Parenchymzellen den Markstrahlen angehören. Nur wenn diese eiweisshaltigen Markstrahlzellen sehr dünnwandig sind, genügen sie ohne weiteres ihrer Aufgabe, im Allgemeinen findet man aber die einseitigen Siebtüpfel am häufigsten an den eiweisshaltigen Markstrahlzellen ausgebildet. Aus dem Umstande, dass nach der Wand der eiweisshaltigen Parenchymzellen zu, dieselben Callusstäbchen führen, wie sie die Siebtüpfel zwischen den Siebröhren erfüllen, möchte man schliessen, dass die von den Siebröhren geführte Substanz den eiweisshaltigen Zellen unverändert übermittelt wird. Ob die von den eiweisshaltigen Parenchymzellen übernommenen Siebröhrenstoffe innerhalb dieser eine Veränderung erfahren, oder erst an den Orten ihres Verbrauchs, lässt sich nicht feststellen. Die erstere Annahme scheint mir die wahrscheinlichere zu sein, da sonst die Ausbildung dieser eiweisshaltigen Zellen nicht recht verständlich wäre. Dass sie nothwendig sind, zeigt besonders

ihre Ausbildung am Markstrahl, dort, wo sie im Bastparenchym fehlen. Könnten die gewöhnlichen Markstrahlzellen gleich die Substanzen der Siebröhren aufnehmen, so würden, im letzteren Falle, diese eiweisshaltigen Zellen auch am Markstrahl fehlen. Weiter ist aber anzunehmen, dass auch in letzterem Falle die aus den Siebröhren aufgenommenen Stoffe zur Weiterbeförderung an die gewöhnlichen, auch die Kohlehydrate leitenden Markstrahlzellen überwiesen werden. Dass diese gewöhnlichen Markstrahlzellen diese Stoffe zum Cambium, und jedenfalls auch weiter, in denjenigen Fällen leiten müssen, wo die eiweisshaltigen Zellen an das Bastparenchym gebunden sind, liegt auf der Hand [1]).

Im Bau ihres Bastes und in der Vertheilung der einzelnen Elemente innerhalb desselben, weichen die verschiedenen Familien der Coniferen nicht unbedeutend ab, so dass sie eine gesonderte Behandlung verlangen. Dabei werden sich auch für andere Elemente als die bis jetzt berücksichtigten, anatomische Beziehungen ergeben, die einer späteren physiologischen Verwerthung fähig sind. Ich werde mich begnügen, auf diese Beziehungen hinzuweisen, und vor allem bemüht sein, das thatsächliche Material sicherzustellen.

Bei den Abietineen finden wir ausser Siebröhren nur Bastparenchym im Bast, und zwar besteht letzteres aus stärkeführenden Elementen, zwischen welche krystallführende eingeschaltet sind. Ausserdem enthält der Bast bald mehr, bald weniger Steinzellen. Auch diese fallen dem Bastparenchym zu und stellen stark verdickte Elemente desselben vor. Nur ausnahmsweise sind es auch einzelne Markstrahlzellen, die sich so verdicken. Die Krystallablagerung erfolgt meist schon in unmittelbarer Nähe des Cambiums und scheint daher zu der Thätigkeit desselben in Beziehung zu stehen. Die Verdickung einzelner Zellen zu Steinzellen findet hingegen meist erst in geraumer Entfernung vom Cambium statt, ausserhalb der thä-

1) Aus dem Umstande, dass die eiweisshaltigen Zellen der Markstrahlen am Cambium aufhören, glaube ich zunächst folgern zu müssen, es käme auf die Leitung der Stoffe, die sie führen, nur bis zum Cambium an; thatsächlich erklärt sich aber das Aufhören dieser eiweisshaltigen Markstrahlzellen am Cambium viel einfacher aus dem Umstande, dass dort auch die Siebröhren aufhören, deren Inhalt sie aufnehmen.

tigen Siebröhrenzone, und verräth somit weit eher eine Beziehung zu den Lebensvorgängen des stärkeführenden Parenchyms. Eine mechanische Bedeutung kommt diesen isolirten Steinzellen keinesfalls zu. Die Thätigkeit der stärkeführenden Zellen scheint hier nicht mit Calciumoxalat-Ablagerung verbunden zu sein, wohl aber tritt diese wieder in die Erscheinung dort, wo durch Ausbildung eines Phellogens eine neue Cambiumthätigkeit eingeleitet wird. Ganz allgemein nehmen die stärkeführenden Bastparenchym- und Markstrahlzellen jenseits der thätigen Siebröhrenzone an Umfang zu und runden sich ab. So gering auch die Menge dieser stärkeleitenden Zellen im Verhältniss zu den thätigen Siebröhren ursprünglich sein mochte, sie bilden schliesslich, nachdem sie sich vergrössert und nachdem die entleerten Siebröhren zerdrückt worden sind, die dominirende Masse des Bastes. Sie bleiben wohl an die 12 bis 25 Jahre in Thätigkeit, bis dass sie schliesslich durch auftretendes Phellogen abgeschnitten werden. Alle stärkeführenden Zellen des Bastes hängen mit einander durch flache Tüpfel zusammen, deren Schliesshaut, wie schon Russow [1]) gezeigt hat, siebförmig punktirt ist. In den stärkeführenden Bastparenchymzellen kommt es, wie die Vertheilung der Tüpfel anzeigt, vornehmlich auf longitudinale, in den stärkeführenden Markstrahlzellen auf radiale Leitung an. — Bei der Kiefer, der Fichte, der Lärche und der Edeltanne wird nur ein tangentiales Bastparenchymband während jeder Vegetationsperiode gebildet, und ich stimme Russow [2]) darin bei, dass dieses Band nicht zu Anfang oder zu Ende der Vegetationszeit, vielmehr annähernd in deren Mitte eingeschaltet wird. Diese Bastparenchymbänder sind ein- bis dreischichtig, stellenweise dünner oder dicker, auch unterbrochen, und in ihren einzelnen Theilen verschoben. Die Krystallschläuche, die innerhalb dieser Parenchymbänder vertheilt sind, erscheinen um das Mehrfache länger als die stärkeführenden Zellen, andererseits schmäler. Sie sterben alsbald ab und collabiren, und stechen dann um so mehr gegen die angeschwollenen Stärkezellen im älteren Baste ab. Die Krystalle sind dem abgestorbenen, braun gefärbten Zellinhalt eingelagert. Besonders

1) Ueber den Inhalt der parenchymatischen Elemente der Rinde etc., Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 352.

2) Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 266.

zahlreich fand ich die Krystallschläuche in den untersuchten Zweigen der Libanon-Ceder, ja bei derselben auch die Markstrahlzellen des Bastes zum Theil mit Krystallen vollgestopft. Wie schon früher erwähnt wurde, lagert die Ceder ihre Calciumoxalat-Krystalle zum Theil auch nach der Holzseite ab, in den dem Rande der Markstrahlen aufgesetzten Zellen. Ist bei den nur ein Bastparenchymband im Jahre bildenden Abietineen der Jahreszuwachs sehr stark, so kann auch wohl im Herbst noch ein zweites Bastparenchymband entstehen. Durch das Zusammendrücken der ausser Thätigkeit getretenen Siebröhren werden die Parenchymbänder einander genähert und die Markstrahlen entsprechend hin und her gebogen. — Die bei der Kiefer in dem letzten Bastparenchymbande abgelagerten Krystalle erfahren weiterhin keine merkliche Vermehrung mehr, woraus folgt, dass vom Cambium entfernt, keine Calciumoxalat-Bildung mehr stattfindet. Bei der Edeltanne nehmen die Krystalle bis in das dritte, ja selbst das vierte Bastparenchymband an Grösse zu. Da die Elemente im Baste der Edeltanne wesentlich die nämlichen wie bei der Kiefer sind, so lässt sich annehmen, dass die Zunahme des Calciumoxalats in älteren Bastparenchymbändern nicht auf einer Bildung desselben etwa in den stärkeleitenden Elementen, sondern auf einer fortgesetzten Zuleitung der betreffenden Stoffe vom Cambium aus beruht. Da diese Zunahme hier in einer Gegend anhält, in welcher die Siebröhren und eiweisshaltigen Zellen bereits entleert und collabirt sind, so können es andererseits nicht die eiweisshaltigen, vielmehr nur die stärkeführenden Markstrahlzellen sein, welche diese Zuleitung besorgen. Bei der Fichte ist die Zunahme der Krystalle in den aufeinander folgenden Bastparenchymbändern fast noch auffälliger als bei der Edeltanne und lässt sich bis in das sechste Band hinein constatiren. Hingegen verhält sich die Lärche annähernd wieder wie die gemeine Kiefer, ihre Krystallablagerungen sind im jüngsten Bast schon vollendet. — Die Sklerenchymzellen treten bei der Lärche etwa im dreijährigen Bastparenchym auf. Die betreffenden Parenchymzellen, die bis dahin Stärke führten, wachsen dann meist noch einseitig oder zweiseitig aus, schärfen sich auf diese Weise zu und verdicken sich fast bis zum Verschwinden des Lumens. Bei der Fichte und Edeltanne treten die Sklerenchymzellen in noch grösserer Entfernung vom Cambium auf. Bei der Edeltanne

erhalten sie ganz unregelmässige Gestalten, so dass sie oft wie gehörnt aussehen. Da die Bildung dieser Elemente ausserhalb der thätigen Siebröhrenzone erfolgt, so dürften sie kaum in Beziehung zu der Thätigkeit der Siebröhren stehen, weit eher, wie schon erwähnt, zu der Function des stärkeleitenden Parenchyms. Mechanische Bedeutung kann, wie auch schon hervorgehoben wurde, diesen Elementen nicht zukommen, welche, bei einem auf die Rinde sich geltend machenden Druck, die inneren zarten Gewebe nur beschädigen, nicht aber schützen könnten. Es drängt sich vielmehr die Vorstellung auf, dass die Lebensvorgänge, die sich in den stärkeleitenden Zellen abspielen, nothwendig auch zur Bildung und Ablagerung von Cellulose führen müssen, und dass, da diese Ablagerung in den Leitungsbahnen des Bastes selbst nachtheilig wäre, besondere Zellen für dieselbe ausgewählt werden [1]).

Bei den Taxodineen, Cupressineen und Taxineen zeigt der Bast einen im Wesentlichen übereinstimmenden Bau, der sich in einer mehr oder weniger regelmässigen Abwechselung von Siebröhren-, Bastparenchym- und Bastfaser-Bändern äussert. Bilder dieser Art sind aus früheren Publicationen hinlänglich bekannt, und kann ich beispielsweise auf die Figur verweisen, die de Bary von Juniperus communis in seiner Vergleichenden Anatomie entworfen hat [2]). Die Parenchymbänder in solchem secundären Baste bestehen, wie wir schon wissen, aus stärkeführenden und eiweisshaltigen Zellen. Als Schema der Aufeinanderfolge kann gelten, dass auf ein Bastfaser-Band ein solches von Bastparenchym, dann ein solches aus Siebröhren, dann wieder ein Bastparenchym-Band und hierauf wieder ein

---

1) Spiessartige „Cystolithen“ aus schwach verholzter Cellulose, die wohl nur als Ablagerung eines nicht anders verwerthbaren Productes gelten können, fand Molisch in grossen Sklerenchymzellen des Markes in den Internodien von Goldfussia isophylla. Der Knoten derselben Pflanze führt kalkhaltige Cystolithen (Oest. bot. Zeitschr., Bd. XXXII, 1882, p. 345). Conglomerate eiförmiger verholzter Körper fand C. Hartwig in der Nahrungsschicht einiger Eichengallen (Ueber Gerbstoffkugeln und Ligninkörper in der Nahrungsschicht der Infectoria-Gallen, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch., 1885, p. 149). Auch die bekannten Steinzellen der Birnen können dort nur die Bedeutung eines Nebenproductes haben.

2) Fig. 209, p. 509.

Bastfaser-Band folgen. Doch treten bei vielen Arten Verdoppelungen des einen oder des anderen Bandes mehr oder weniger häufig auf, oder auch einzelne Bänder sind unvollständig, oder sie fehlen auch ganz. Besonders trifft dies für die Bastfaser-Bänder zu, welche bei gewissen Arten augenscheinlich nur je nach Bedürfniss eingeschaltet werden. So auch sieht man diese Bastfaser-Bänder oft innerhalb weiter Zonen unverdickt oder fast unverdickt bleiben, und so auch werden innerhalb sich sonst verdickender Bänder einzelne Fasern oder grössere Reihen derselben in der Verdickung übersprungen. Die unverdickt bleibenden Fasern könnten sehr wohl als Ersatzbastfasern bezeichnet werden. Die Verdickung der Bastfasern hier ist augenscheinlich die Folge ähnlicher Ursachen, wie wir sie zuvor für die Bildung der Steinzellen bei den Abietineen angenommen haben. Die mit Nothwendigkeit aus den Lebensvorgängen sich ergebende Membranablagerung, die in der Steinzellbildung ohne nachweisbaren Nutzen für die Pflanze bleibt, kann aber für mechanische Zwecke Verwerthung finden. Im Baste der Coniferen ist dies nur selten geschehen. Einen wirksamen Schutz der dünnwandigen Gewebstheile könnten die Bastfasern der Taxodineen, Cupressineen oder Taxineen nämlich nur dann gewähren, wenn sie in festem tangentialen Zusammenhang einerseits, in radialem Verbande andererseits ständen. Die Bastfaserbänder sind hier aber in tangentialer Richtung vielfach unterbrochen, oft auf lange Strecken hin ohne Zusammenhang und ausserdem in radialer Richtung nicht gegen einander versteift. Es giebt Fälle, wie bei Ginkgo, wo die Bastfaserbänder so unvollständig sind und so weit auseinander liegen, dass schon der erste Blick auf den Querschnitt lehrt, dass ihnen jede mechanische Bedeutung zum Schutz der weichen Basttheile (und eine solche Aufgabe, nicht etwa die Erhöhung der Biegungsfestigkeit, könnte ihnen hier allein zufallen) abgehen muss. Es giebt aber auch Fälle, wie bei Wellingtonia gigantea u. a. m., wo die Bastfaserbänder sehr vollständig ausgebildet erscheinen und an den relativ stark verdickten Markstrahlzellen eine feste Stütze finden. In diesen Fällen macht sich der mechanische Nutzen der Einrichtung auf den ersten Blick schon dadurch geltend, dass auch die entleerten, zwischen zwei Bastfaserbändern befindlichen Elemente nicht collabiren können. Die todten Siebröhren und eiweisshaltigen Bast-

parenchymzellen erscheinen da nur so weit zusammengedrückt, als es in Folge der Vergrösserung und Abrundung der stärkeführenden Bastparenchymzellen geschieht. Solche Fälle, wie die letzterwähnten, könnten somit allein bei den Coniferen für die Schwendener'sche Auffassung[1]) angeführt werden: „die Bastbündel der späteren Jahre seien als schützende Belege für das Cambiform, d. h. für die Siebröhren und die parenchymatischen Gitterzellen zu betrachten.“ Als Beispiele für Gymnospermen führt dann Schwendener[2]) „Juniperus, Wellingtonia etc.“ auf, was mit sehr bedeutender Einschränkung des „etc.“ auch passen würde. — Doch eine andere Rolle noch als diejenige der Cellulose-Ablagerung und eventuell auch des mechanischen Schutzes fällt den Bastfasern der Taxodineen, Cupressineen und Taxineen zu, sie dienen fast stets auch zur Aufnahme von Calciumoxalat. Dieses aufgenommene Calciumoxalat lagern sie entweder ihrer eigenen Wandung an, oder sie deponiren es in die radialen gemeinsamen Wände. Das Erstere findet bei Taxus, das Letztere bei den Taxodineen und Cupressineen statt. Ginkgo hingegen speichert auch im secundären Baste, wie im Holzkörper das Calciumoxalat in Gestalt grosser Krystalldrusen, in stark angeschwollenen Bastparenchymzellen, respective seltener auch in einzelnen Markstrahlzellen, auf. Die Ablagerung von Calciumoxalat findet ausschliesslich statt oder beginnt doch wenigstens auch hier schon im jüngsten Bast, nahe am Cambium, innerhalb der jüngsten Bastzone. Die Ablagerung von Zellhautstoff folgt oft erst deutlich später, kann sich aber auch schon früher vollziehen. Die Bastfasern von Taxus lagern ihren Wänden zunächst Calciumoxalat-Krystalle an und bilden hierauf erst ihre secundären Verdickungsschichten aus. In alten Stämmen von Taxus kann zur Winterzeit die Verdickung der Bastfasern im Schafte bis zum Cambium reichen. Ganz allgemein findet dies bei Juniperus communis statt[3]). In denjenigen Fällen, in welchen die beiden hier den Bastfasern zufallenden Functionen, der Calciumoxalat-Ausscheidung und der

---

1) Das mechanische Princip im anatomischen Bau der Monocotylen, p. 146.

2) Ebendas. Anm. 1.

3) l. c. p. 509, Fig. 209. Wie an dem schon wiederholt citirten Bilde von de Bary, Vergl. Anat., Fig. 209, p. 509 zu sehen.

Zellhaut-Ablagerung in einander greifen, ist dafür gesorgt, dass beide Vorgänge einander nicht stören. In der Wandverdickung werden Kanäle ausgespart, die nach den Orten führen, in welchen das Calciumoxalat auskrystallisiren soll. So zeigen sich die secundären Verdickungsschichten der Bastfasern von Taxus von allseitig orientirten Kanälen durchsetzt, die nach der primären Wandung führen, an welcher zunächst die Calciumoxalat-Ablagerung gleichmässig erfolgte und wohl auch weiterhin noch erfolgt. Andererseits weisen diejenigen Bastfasern, welche das Calciumoxalat nicht in ihrem Innern, sondern in den zwischengelegenen radialen Wänden deponiren, Kanäle in den Ecken auf, die nach diesen Wänden führen. Durch ihr abweichendes Verhalten erscheint wiederum Ginkgo recht belehrend. Ginkgo, die in so vielen äusseren Merkmalen von den anderen Taxineen abweicht, weist auch eine von den Bastfasern unabhängige Calciumoxalat-Ausscheidung auf. Diese Ablagerung erfolgt sowohl nach der Holz- als nach der Bastseite und verräth hierdurch, ähnlich wie bei Cedrus Libani, bei der wir ein ähnliches Verhalten sicherstellen konnten, die Abhängigkeit der Calciumoxalat-Ausscheidung von der Thätigkeit der zwischen Holz und Bast gelegenen Cambiumzone. Im Holz wie im Bast beginnt die Ausscheidung sehr nahe vom Cambium, und dürfte es sich hier somit um denjenigen Vorgang der Calciumoxalat-Bildung handeln, der von Schimper als der primäre bezeichnet worden ist, der in den Meristemen aufzutreten pflegt und der im Gegensatz zu dem secundären von Chlorophyllthätigkeit und vom Licht unabhängig ist[1]). Die Calciumoxalat-Ablagerung hält aber im Baste von Ginkgo längere Zeit an, so dass die Krystalldrusen noch in namhafter Entfernung von der jüngsten Bastzone wachsen. Auf ähnliche Erscheinungen, in anderen Fällen, haben wir zuvor schon hingewiesen. Es fragt sich alsdann, ob Calciumoxalat dauernd vom Cambium aus den Orten der Ablagerung zugeführt wird, oder, an andere Processe gebunden, dort selbst entsteht. Kohl versucht neuerdings, die Calciumoxalat-Ablagerung in Beziehung zur Stärke- und Cellulose-Bildung zu bringen[2]), während nach der Auffassung, an der

---

1) Ueber Kalkoxalatbildung in den Laubblättern, Bot. Ztg. 1888, Sp. 98.

2) Anatomisch-physiologische Untersuchung der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze, 1889, p. 43 ff.

Schimper festhält [1]), eine dauernde Zuleitung von Calciumoxalat vom Cambium aus angenommen werden müsste. Dass an denselben Orten Calciumoxalat und der Ueberschuss von Membranstoffen abgelagert wird, hat für die Pflanze jedenfalls den Vortheil, dass die Nebenproducte beisammenbleiben, so möglichst wenig Raum beanspruchen und die Leitungsbahnen möglichst wenig belasten. Dass die Calciumoxalat-Ablagerung in und um die sklerenchymatösen Elemente nicht durchaus an die Wandverdickung innerhalb derselben gebunden ist, zeigt der Umstand, dass beide Vorgänge oft nicht gleichzeitig erfolgen, oder auch nur der eine von beiden sich einstellt. Dass andererseits das Calciumoxalat an Orten abgelagert werden kann, an welchen es nicht entstand, werden wir gleich noch bei Dammara sehen, bei welcher entleerte Siebröhren und zuvor eiweisshaltige Bastparenchymzellen mit zu diesem Zwecke benutzt werden. Der Vergleich der beiden von mir untersuchten Araucarieen, der Araucaria und Dammara, war überhaupt in Hinblick auf die Calciumoxalat-Ablagerung sehr instructiv, denn während dieselbe bei Araucaria brasiliensis in den radialen Wänden des secundären Bastes erfolgte und schon in nächster Nähe des Cambiums begann, ging sie bei Dammara erst in den älteren Theilen des Bastes, jenseits der Region thätiger Siebröhren, vor sich.

Im Allgemeinen werden, von Unregelmässigkeiten abgesehen, ziemlich constant zwei Serien von Elementen alljährlich in dem secundären Baste der Taxodineen, Cupressineen, Taxineen, den Angaben Russow's [2]) gemäss, ausgebildet, so dass die Zahl der Bastfaserbänder fast genau doppelt so gross als diejenige der Jahresringe ist.

Von den Taxodineen habe ich Taxodium distichum, Cryptomeria japonica und Wellingtonia gigantea untersucht. Zu den über diese Pflanzen bereits zusammenhängend gemachten Angaben will ich nur Weniges hinzufügen. Von unbestimmten Verdoppelungen abgesehen, zeigte der secundäre Bast des von mir untersuchten 43-jährigen Stammes von Taxodium distichum die gewohnte Abwechslung der Elemente. Die bandartig abge-

---

1) Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora 1890, besonders p. 233, 243, 248.

2) Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 292.

flachten Bastfasern wurden hier sehr bald verdickt, und da die Markstrahlzellen relativ dicke Wände besitzen, so erlangt der Bast einen festen Aufbau, der ein Collabiren der entleerten Elemente nicht zulässt. Daher es im Querschnitt nicht ohne weiteres gelingt, alle eiweisshaltigen Bastparenchymzellen als solche zu erkennen. Calciumoxalat wird hier in nur geringer Menge erzeugt und in die radialen Wände eingelagert, wie man dies am leichtesten mit Zuhilfenahme des Polarisationsapparates feststellen kann. — Bei Cryptomeria japonica sind die Markstrahlen, im Holz wie im Bast, ganz vorwiegend nur ein- und zweireihig. Das erweckt auf tangentialen Längsschnitten durch den Bastkörper zunächst die Vorstellung, man habe es mit eiweisshaltigen Markstrahlen zu thun, doch stellt man alsbald fest, dass diese Reihen später nicht collabiren, ihren lebendigen Zellleib vielmehr behalten und Stärke führen. Im Gegensatz zu Taxodium gehen Cryptomeria japonica, und so auch Wellingtonia gigantea, die eiweisshaltigen Markstrahlzellreihen so gut wie ab. Man kann oft lange suchen, bis dass man einzelne solche Zellreihen im tangentialen Längsschnitt findet, es scheint fast, als würden sie nur ausnahmsweise angelegt. Bei Wellingtonia findet man sie im ganzen genommen noch seltener als bei Cryptomeria. — Die Anordnung und die Verdickung der Elemente bei Cryptomeria und Wellingtonia stimmt mit Taxodium überein; die Einlagerung von Calciumoxalat in die Mittellamelle der Radialwände ist aber bedeutend stärker. Eine Bevorzugung der den Bastfasern nächsten Partien der radialen Wände war hierbei zu constatiren. Stellenweise hatten sich in der Mediane der Radialwand mit Calciumoxalat-Krystallen ausgekleidete Hohlräume ausgebildet. Doch diese, die Krystallablagerung betreffenden Verhältnisse sind bereits bekannt, und kann ich somit des Weiteren auf die älteren Arbeiten, vornehmlich diejenige von Solms-Laubach [1]), verweisen.

Für Cupressineen habe ich meine Untersuchungen auf Juniperus chinensis und auf Thuya occidentalis beschränkt. Die typische Aufeinanderfolge der Elemente im secundären Bast pflegt bei den Cupressineen ganz besonders festgehalten zu werden. Die Krystalleinschaltung in die Mittellamelle der

1) Ueber einige geformte Vorkommnisse oxalsauren Kalkes in lebenden Zellmembranen, Bot. Ztg., 1871, Sp. 509.

Radialwände ist die nämliche wie bei Taxodineen; für Biota orientalis ist das zutreffende Bild von Solms-Laubach[1]) zu vergleichen, welches auch die schon für Wellingtonia erwähnten Krystalllücken innerhalb der radialen Wände zeigt. In dem von mir untersuchten Stammholze von Thuya occidentalis waren die Bastfasern fast bandförmig abgeflacht; wesentlich breiter erscheinen sie in dem Bilde von Solms-Laubach für Biota orientalis. Juniperus chinensis hat annähernd dieselben relativ weitlumigen Bastfasern, wie sie sich aus dem de Bary'schen Bilde[2]) für Juniperus communis ergeben, aufzuweisen. Doch war in dem von mir untersuchten Stammholze von Juniperus chinensis die Verdickung dieser Bastfasern grösstentheils unterblieben. In relativ grossen Entfernungen von einander, durch die Bildungsproducte vieler Jahrgänge getrennt, fanden sich Bänder vor, deren sämmtliche Elemente stark verdickt waren. Es konnte andererseits vorkommen, dass auch zwei dicht auf einander folgende Bänder eine solche starke Verdickung aufwiesen.

In dem von mir untersuchten Stammholze von Juniperus chinensis waren eiweisshaltige Markstrahlzellreihen kaum aufzufinden. Es besteht aber in dieser Beziehung ein ähnlicher Gegensatz zwischen Juniperus chinensis und Thuya occidentalis, wie zwischen Taxodium distichum auf der einen, Cryptomeria japonica und Wellingtonia gigantea auf der anderen Seite. Ein Uebergang von den eiweisshaltige Zellreihen in den Markstrahlen noch besitzenden Taxodineen und Cupressineen zu den derselben entbehrenden Taxineen ist somit in jeder Weise vermittelt. Auf radialen Längsschnitten sind die collabirten eiweisshaltigen Bastparenchymzellen bei Juniperus chinensis oft auf ziemlich lange Strecken hin fortlaufend zu verfolgen. Juniperus communis verhält sich wie Juniperus chinensis.

Von Taxineen untersuchte ich Taxus baccata und Ginkgo biloba. Bei Taxus tritt uns dieselbe Aufeinanderfolge der Elemente im secundären Bast wie bei Taxodineen entgegen[3]). Die Bastfaserbänder werden regelmässig eingeschaltet, wenn

1) l. c. Taf. VI, Fig. 1.
2) Vergl. Anat., p. 509, Fig. 209.
3) Vergl. z. B. das Bild bei Solms-Laubach l. c. Taf. VI, Fig. 3.

sie auch an jüngeren Schäften und Aesten nicht verdickt werden und nur der Krystallablagerung dienen. Erst in älteren Schäften und Aesten stellen sich die stark verdickten Bastfasern ein, doch auch da nur zerstreut, so dass die meisten Bänder unverdickt bleiben, die anderen doch nur einzeln verdickte Bastfasern aufweisen. Eine mechanische Bedeutung kann diesen verdickten Bastfasern somit nicht zukommen. Auch wäre ein etwaiger von denselben gebotener Schutz an den jüngeren Stammtheilen mindestens ebenso nothwendig wie an älteren. — Ginkgo biloba fällt, im Vergleich zu allen den sonst von mir untersuchten Taxineen, Cupressineen und Taxodineen, durch die geringe Regelmässigkeit im Aufbau ihres secundären Bastes auf. Es folgen bei Ginkgo häufig mehrere Siebröhren radial auf einander, auch wohl mehrere Bastfasern. Auch findet man letztere in Bastparenchymbänder eingeschaltet. Oder es werden auf eine längere Strecke hin die Bastfasern überhaupt nicht erzeugt, was um so begreiflicher erscheint, als die Calciumoxalat-Ausscheidung hier an dieselben nicht gebunden ist. — Die geringe Regelmässigkeit der Aufeinanderfolge erschwert im Querschnitt die Erkennung der einzelnen Elemente, welche auf Längsschnitten hingegen leicht gelingt. Ginkgo ist das instructivste Object für das Studium der eiweisshaltigen Bastparenchymzellen, die hier auf längere Strecken hin sich verfolgen lassen und nach ihrer Entleerung zusammensinken (Taf. II, Fig. 24, 25, 26 und 27). In den zusammengesunkenen Zellenzügen markiren sich die gefalteten, etwas gequollenen Querwände, wie knotenförmige Anschwellungen. Es kommt gelegentlich vor, dass in eine solche längere Reihe plötzlich eine vereinzelte Stärkezelle eingeschaltet ist, so wie es in unserer Figur 29 zu sehen. Es ist klar, dass diese Zelle tangential-seitlichen Zusammenhang mit anderen stärkeführenden Bastparenchymzellreihen oder Markstrahlen besitzen muss, da sonst ihr isolirtes Fortbestehen nicht möglich wäre. Auch sind mir wohl einzelne der blasenförmig angeschwollenen Krystallbehälter in einer eiweisshaltigen Bastparenchymzellreihe vorgekommen. — Mit dem Umstande, dass die Zahl der Bastfasern hier so gering ist, mag es vielleicht zusammenhängen, dass stellenweise im secundären Baste Steinzellnester vorkommen. Es sind das auch hier Bastparenchymzellen, die sich in dieser Weise, fast bis zum Schwinden des Lumens, verdickt haben.

Was die Araucarieen anbetrifft, so konnte ich, dank der Gefälligkeit des Herrn Professor Debray in Algier, meine Untersuchungen sowohl auf Araucaria brasiliensis, wie auch auf Dammara australis ausdehnen. Das Material war kräftigen Pflanzen entnommen, die im Versuchsgarten von Hamma bei Algier wuchsen. Die mir gesandten Schaftstücke von Araucaria und Aststücke von Dammara kamen noch lebend an; der dickste Abschnitt der Araucaria hatte einen Durchmesser von 6,5 cm aufzuweisen. Das Alter dieses Abschnittes habe ich nur annähernd bestimmt, da die Jahresringgrenzen sich für das blosse Auge nicht scharf markirten [1]). Die am Schluss der Vegetationszeit erzeugten Tracheïden sind nur wenig enger als die zu Beginn derselben gebildeten, und Anknüpfungspunkte für die Bestimmung der Jahresgrenze liessen sich nur mikroskopisch aus den zahlreichen tangentialen Tüpfeln gewinnen, welche sich an der letzten, zum Theil auch der vorletzten Wand jeder Zuwachszone befinden. Dass Araucaria brasiliensis eine Ruhezeit auch in Algier durchmacht, das zeigten meine Schaftstücke, die im December dem Baume entnommen worden waren. Ihr Cambium befand sich im Ruhestadium; die an dasselbe grenzenden Tracheïdenwände hatten Tangentialtüpfel aufzuweisen. Der Stamm mag 15 Jahre alt gewesen sein. Holzparenchym zwischen den Strangtracheïden war in diesem Schaftholze nicht vorhanden, und ebenso gelang es auch Schacht nicht, dasselbe zu finden [2]). Hingegen giebt Gregor Kraus „Harzzellen" bei Araucaria brasiliensis an [3]). Ich halte es für möglich, dass Schwankungen in dieser Beziehung vorkommen. An den ziemlich breiten Tracheïden zeigten sich die polygonalen Hoftüpfel meist in zwei alternirenden Reihen angeordnet. Die aus nur einer Art lebendiger Elemente bestehenden Markstrahlen führten ziemliche Mengen von Stärke. Die entsprechenden Abbildungen bitte ich bei Schacht, in dem schon citirten Aufsatz, auf Tafel XIII zu vergleichen. Daselbst gewinnt man auch aus Figur 10 eine Vorstellung von dem Aussehen, welches der secundäre Bast im Querschnitt besitzt. Derselbe erscheint aus

---

1) Vergl. auch Schacht, Ueber den Stamm und die Wurzel von Araucaria brasiliensis, Bot. Ztg., 1862, p. 410.

2) l. c. p. 410.

3) Würzburger naturwiss. Zeitschr., Bd. V, 1864, p. 173.

radial angeordneten Elementen aufgebaut, die im Querschnitt wenig Verschiedenheit verrathen. Zwischen diese Elemente sind vereinzelte, stark verdickte Bastfasern, hier und da ein Harzgang eingestreut. In gewisser Entfernung vom Cambium sind die dünnwandigen Elemente fast sämmtlich collabirt; nur wenige anschwellende und sich abrundende, stärkeführende Zellen bleiben zwischen den Bastfasern zurück. Wie radiale und tangentiale Längsschnitte lehren, sind die aus dem Holze kommenden Markstrahlen im Baste ohne besondere, der Eiweissaufnahme dienende Zellreihen, und nur ganz vereinzelt, man kann wohl sagen ausnahmsweise, werden einzelne eiweisshaltige einstöckige Markstrahlen dem Bastkörper eingeschaltet. Hingegen befinden sich zahlreiche eiweisshaltige Bastparenchymzellreihen zwischen den Siebröhren. Sie bilden, in Gemeinschaft mit den Siebröhren, die Hauptmasse des Bastes, gegen welche die stärkeleitenden Bastparenchymzellreihen und die Bastfasern bedeutend zurücktreten. Unsere Fig. 30, Taf. II, stellt uns einen tangentialen Längsschnitt aus einer Partie des Bastes vor, die noch active Siebröhren und eiweisshaltige Bastparenchymzellen führte. Das Bild zeigt rechts und in der Mitte eiweisshaltiges Parenchym, dazwischen Siebröhren und Markstrahlen. An den eiweisshaltigen Bastparenchymzellen sind die früher schon erwähnten, einseitigen Siebtüpfel zu sehen, welche die Figur 32, bei stärkerer Vergrösserung noch im Besonderen, an einer einzelnen eiweisshaltigen Bastparenchymzelle zur Darstellung bringt. Der Inhalt der eiweisshaltigen Bastparenchymzellen war an meinem Stammstück in keinem Entwicklungszustande bedeutend. Die jungen Siebröhren hatten zwei bis vier Zellkerne, die sich mehr oder weniger gleichmässig im Lumen der Siebröhren vertheilt zeigten, aufzuweisen. In den reifenden Siebröhren waren die Kerne nur noch undeutlich contourirt, zu grossen, annähernd homogenen, schwach lichtbrechenden, von Anilinblau blass gefärbten Gebilden angeschwollen. Die stärkeführenden Bastparenchymreihen (Fig. 31, Taf. II, rechts) standen an Zahl den eiweisshaltigen sehr wesentlich nach und enthielten nur relativ kleine Stärkekörner; in älteren Basttheilen waren sie zum Theil gerbstoffhaltig. Wesentlich stärkereicher erwiesen sich die Markstrahlen, welche in gewohnter Weise von Intercellulargängen begleitet wurden (Fig. 30). An den Kanten der Markstrahlen pflegten diese Gänge die stärkste Entwicklung zu

erreichen. Etwas weiter nach aussen im secundären Baste zeigten sich die Siebröhren und eiweisshaltigen Bastparenchymzellen entleert. Die Fig. 31, Taf. II, führt uns dieselben bereits in diesem entleerten Zustande vor. Der Plasmaschlauch und Zellkern der eiweisshaltigen Bastparenchymzelle wird vor dem Schwinden allmählich blasser. Beide verlieren in Anilinblau immer mehr ihre Tinctionsfähigkeit, bis dass sie schliesslich nicht mehr wahrzunehmen sind. Im radialen Längsschnitt zeigten die Querwände der collabirten eiweisshaltigen Bastparenchymzellen ganz die nämliche charakteristische Faltung, wie sie durch unsere Figuren 26 und 27, Taf. II, für Ginkgo biloba vorgeführt wurde. Die Anordnung der Bastelemente im Querschnitt ist, wie schon erwähnt, eine radiale; eine Abwechselung bestimmter Elemente in tangentialen Bändern ist aber nicht gegeben. Die Siebröhren und eiweisshaltigen Bastparenchymzellen sind einander mehr oder weniger vollständig untermischt, und so auch zeigen sich zwischen denselben die stärkeleitenden Elemente eingeschaltet, welche die Markstrahlen unter einander verbinden. In den peripherischen Theilen des secundären Zuwachses fand ich relativ mehr Bastfasern als in den inneren; eben solche Bastfasern waren auch in den inneren Theilen der primären Rinde vertreten. Die primäre Rinde zeigte sich auch reich an Steinzellen und an Harzgängen. Auch hier haben die Bastfasern des secundären Bastes nichts mit der Calciumoxalat-Ablagerung zu thun, dieselbe findet vielmehr, wie bei Taxodineen, in den Mittellamellen der radialen Wände statt, in Gestalt kleiner stäbchenförmiger Krystalle. Dieses hat auch bereits Solms-Laubach in seinem Querschnittsbilde des Bastes von Araucaria excelsa dargestellt [1]). — Zum Vergleich untersuchte ich auch Araucaria imbricata an einem etwa 8-jährigen Aste aus hiesigem Garten. Die Jahrgänge waren ebenso schlecht markirt wie im Holzkörper von Araucaria brasiliensis. Der Bau schien sehr übereinstimmend mit Araucaria brasiliensis zu sein, ausnahmsweise fanden sich aber eiweisshaltige Zellreihen auch an den Rändern der aus dem Holze kommenden mehrreihigen Markstrahlen.

Araucaria sehr ähnlich im Bau ist Dammara australis. Der Astabschnitt, der mir zur Verfügung stand, hatte einen

---

1) Bot. Ztg. 1871, Taf. VI, Fig. 4.

Durchmesser von 5,3 cm und zeigte ein einseitig gefördertes Wachsthum. Auffallend weit erschien das Mark, nämlich 6 mm, und auch die Rinde hatte einen Durchmesser von 4 mm aufzuweisen. Im Gegensatz zu Araucaria zeigte diese Dammara deutlich Jahresringbildung, mit wesentlich schmäleren Spättracheïden und scharfem Absatz der weiteren Frühtracheïden. Somit war es leicht, das Alter des Astes zu bestimmen, es betrug 16 Jahre. Als auffallend muss es, den sonst bei Coniferen herrschenden Verhältnissen gegenüber, gelten, dass das Mark in einem so alten Aste noch am Leben war und von Stärke strotzte. Auch die ganze primäre Rinde war noch vorhanden, nur in der Peripherie von Periderm bedeckt. Dieses Periderm hatte graue Färbung, nur geringe Dicke, und das vom Phellogen producirte, wenn auch nicht eben mächtige Phelloderm zeigte sich chlorophyllhaltig. Der Bau des Holzes stimmt mit Araucaria brasiliensis so gut wie völlig überein, doch waren einreihige Holzparenchym-Zellreihen, wenn auch nicht sehr zahlreich, zwischen die Tracheïden eingestreut. Die breiten Tracheïden tragen, wie bei Araucaria, zwei Reihen polygonaler Hoftüpfel, und die letzte Reihe in jedem Jahresringe ist mit Tangentialtüpfeln versehen [1]). Auch das Bild des secundären Bastes ist im Grunde genommen das nämliche wie bei Araucaria, nur zeigt der Querschnitt wesentlich mehr Bastfasern. Die Verdickung derselben beginnt schon in der Nähe des Cambiums. Wie bei Araucaria laufen die Elemente des secundären Bastes in radialen Reihen; eine bestimmte Abwechselung derselben oder Anordnung in tangentiale Bänder ist auch hier nicht vorhanden. Es sind vielmehr in den radialen Reihen Siebröhren, eiweisshaltige Zellen, stärkeführende Bastparenchymzellen und Bastfasern untermischt. Die eiweisshaltigen Bastparenchymzellen kommen im Allgemeinen tangential neben Siebröhren zu stehen. Ausserhalb der activen Siebröhrenzone werden die Siebröhren und eiweisshaltigen Zellen zerdrückt; nur die relativ wenig zahlreichen stärkeführenden Bastparenchymzellen und Bastfasern bleiben zurück. Diese stärkeführenden Bastparenchymzellen und Markstrahlzellen schwellen in gewohnter Weise an. Wie wir schon früher hervorgehoben

---

1) Kleeberg hat hingegen Tangentialtüpfel bei Araucarieen „nirgends beobachtet", Bot. Ztg. 1885, Sp. 723.

hatten, besitzt Dammara australis besonders schön entwickelte Siebtüpfel und ist das schönste Object unter den Coniferen für das Studium derselben (Taf. II, Fig. 33, 34). Auch die einseitigen Siebtüpfel an den eiweisshaltigen Bastparenchymzellen (Taf. II, Fig. 35, 36, 37) fallen hier leicht in die Augen. An den Siebtüpfeln werden weiterhin grosse Calli gebildet, die auch auffallend lange erhalten bleiben; daher die mit Anilinblau tingirten Tangential-Längsschnitte sich hier mit seltener Farbenpracht präsentiren. Auch die einseitigen Siebtüpfel erhalten von der Seite der Siebröhre her meist ihren Callus (Fig. 38). Eiweisshaltige Zellreihen an den stärkeführenden Markstrahlen, oder als besondere Markstrahlen ausgebildet, habe ich bei Dammara nicht gefunden. Die primäre Rinde führt zahlreiche Steinzellen, die nahe der Aussenfläche des secundären Zuwachses einen fast zusammenhängenden, jedenfalls mechanisch wirksamen Panzer bilden. Die primäre Rinde weist zahlreiche Harzgänge auf, welche auch in den äusseren Theilen des secundären Bastes in dem mir zur Verfügung stehenden Aststücke aufzutreten begannen. Eigenthümlich verhält es sich, wie schon erwähnt wurde, bei Dammara australis mit der Ablagerung des Calciumoxalats. Während wir Krystalle dieses Salzes bei Araucaria brasiliensis in den radialen Wänden des secundären Bastes eingelagert fanden, und diese Einlagerung dort in unmittelbarer Nähe des Cambiums begann, ist hier das Calciumoxalat erst im älteren Theile des secundären Bastes, ausserhalb der Region der thätigen Siebröhren, nachzuweisen. An jenem Orte wird aber das Calciumoxalat in Massen abgelagert, und kein Element bleibt von demselben frei. Es ist klar, dass das Calciumoxalat hier nicht an dem Orte seiner Ablagerung entstand, vielmehr dahin geführt werden musste. Man findet es dort in Einzelkrystallen innerhalb der stärkeführenden Bastparenchymzellen und Markstrahlzellen, sowie innerhalb der entleerten, zuvor eiweisshaltigen Elemente. In letzteren sind die Krystalle besonders gross. Kleinere Krystalle decken dicht die Wände der todten Siebröhren, endlich sind ebensolche kleinere Krystalle in und an den Wänden, innerhalb der Mittellamellen und der Intercellularen zu finden. Eben so reich an Calciumoxalat sind die inneren Theile der primären Rinde; grössere Krystalle erscheinen dort im Innern der stärkeführenden Parenchymzellen, kleinere überall in den Mittellamellen und Intercellularen.

Grosse Mengen von Stärke füllten die primäre Rinde. Mit dieser andauernden Thätigkeit der primären Rinde und des Markes in der Leitung respective Aufspeicherung der Stärke mag es zusammenhängen, dass hier relativ so wenig stärkeführendes Bastparenchym in die secundäre Rinde eingeschaltet wird, und dass diese ganz vorwiegend nur aus Siebröhren, eiweisshaltigem Bastparenchym und Bastfasern besteht. Die Markstrahlen tauchen eben auch noch an einem 16-jährigen Aste mit ihren Enden in stärkereiches Mark- und Rindengewebe. Erwähnt sei endlich noch, dass das Mark, ähnlich wie die Rinde, Steinzellen führt, diese aber im Mark nur isolirte Nester bilden, denen eine mechanische Wirkung unmöglich zukommen kann.

Erst nachdem wir den Bau des secundären Zuwachses im Bast der Araucarieen kennen gelernt haben, wollen wir das Verhalten der primären Siebtheile der Abietineen näher ins Auge fassen. Thatsächlich wird uns nämlich das ganze Verhalten der Abietineen erst von diesem vergleichenden Standpunkte aus verständlich. In den primären Gefäss- und Siebtheilen der Abietineen, und so auch der anderen Coniferen, sind die parenchymatischen Elemente einerseits zwischen die Gefässe, andererseits zwischen die Siebröhren eingeschaltet und bilden wie diese longitudinal verlaufende Reihen. Eine scharfe Grenze zwischen den primären und secundären Theilen des Gefässbündels ist nicht vorhanden, vielmehr geht der primäre Theil unmerklich in den secundären über. Gleich nach vollendeter Streckung der Sprosse werden die Vasal- und Cribral-Primanen zerdrückt durch Elemente, welche bereits eine radiale Anordnung zeigen und von einem cambialen Gewebe aus in zwei Richtungen angelegt werden. Dieser erste Zuwachs, der auch in den Blattbündeln in gleicher Weise erfolgt, und der zwar in der Anordnung der Elemente, nicht aber in deren Ausgestaltung mit dem späteren Zuwachs übereinstimmt, lässt sich als primärer bezeichnen. Er bildet hier die primären Gefässe und Siebtheile nicht anders aus, als dies etwa auch in einem monocotylen Bündel, von einer meristematischen, zwischen den Primanen gelegenen Gewebsschicht aus, beiderseits erfolgt. — Es ist für Pinus silvestris zuvor schon geschildert worden, in welcher Weise die Markstrahlen des

secundären Zuwachses im Holzkörper an das Vasalparenchym der primären Gefässtheile anschliessen. An der Siebtheilseite bei derselben Kiefer zeigt der primäre Zuwachs im Wesentlichen denselben Bau, wie er dem Baste der Araucarieen dauernd zukommt, nur dass die den Bastfasern entsprechenden Elemente fehlen. Der Querschnitt weist radial angeordnete Zellenzüge auf, die, an mit Alkohol fixirten Präparaten, sich ihrem Inhalte nach bereits als verschieden zu erkennen geben. Es sind das, der Hauptsache nach, radiale Reihen von Siebröhren, zwischen welchen eben solche Reihen eiweisshaltiger, respective eiweiss- oder stärkeführender Parenchymzellen sich eingeschaltet zeigen. Nur diejenigen radialen Parenchymzellreihen, welche auch stärkeführende Elemente enthalten, setzen sich markstrahlartig in stärkeführende Zellreihen auf der Gefässseite des Bündels fort. Sie münden andererseits nach aussen mit angeschwollenen, stärkehaltigen Zellen in dem stärkehaltigen Gewebe des Pericykels. Alle diese parenchymatischen Elemente der Siebtheile bilden longitudinal fortlaufende Zellreihen; die eiweisshaltigen fallen an Längsschnitten durch ihre grossen, langgestreckten Zellkerne auf und werden auch ihrer kurz andauernden Function gemäss späterhin entleert und zerquetscht. Die stärkeführenden Elemente verbleiben hingegen am Leben. Die Längsreihen dieser Zellen werden auch durch Krystallschläuche unterbrochen, welche sich erst in einiger Entfernung vom Cambium mit Krystallen füllen. In dem an die Cribralprimanen anschliessenden Pericykelgewebe sind bei Pinus und anderen Coniferen lange Schläuche in einfacher wie doppelter, vielfach unterbrochener Schicht nachzuweisen. Es mögen Secretbehälter sein. Die innere Grenze der primären Rinde, die Endodermis, ist in keiner Weise markirt. — Die ersten Markstrahlen des secundären Zuwachses schliessen an die stärkehaltigen Zellplatten des primären Siebtheils an und bestehen zunächst nur aus stärkeführenden Elementen. Erst gegen Ende des erstjährigen Zuwachses beginnen sich an den Rändern der Bastmarkstrahlen eiweisshaltige Zellreihen auszubilden. Sie treten, ganz wie die tracheïdalen Elemente an den Markstrahlen im Holzkörper, zunächst an vereinzelten, dann an immer zahlreicheren Stellen auf. Die Untersuchung der cambialen Gegend lehrt, dass zwischen dem Auftreten der tracheïdalen Elemente an den Markstrahlen des Holzkörpers,

und der eiweisshaltigen an den Markstrahlen des Bastkörpers, volle Coïncidenz herrscht. Denn es sind die nämlichen cambialen Zellreihen, die sich im Holztheil in tracheïdale Elemente, im Basttheil in eiweisshaltige fortsetzen. Nur ganz vereinzelt kommt es bereits vor, dass einem Markstrahl nur an der Bastseite eine eiweisshaltige Zellreihe aufgesetzt wird. In dem Maasse nun, als die Zahl der eiweisshaltigen Zellreihen an den Markstrahlen wächst, nimmt die Zahl der longitudinal eingeschalteten eiweisshaltigen Zellenzüge im Siebtheil ab. Die radialen Zellplatten, welche dort nur aus eiweisshaltigen Elementen bestanden, setzen sich stellenweise in solche ein- respective wenigstöckige Markstrahlen fort, die nur aus eiweisshaltigen Zellen bestehen und im Cambium enden. Bei Pinus silvestris wird der für ältere Jahresringe typische Zustand im Bau des Bastes und der Ausbildung seiner Markstrahlen erst mit Schluss des zweiten Jahres erreicht. Erst im Zuwachs des dritten Jahres zeigt sich das Bastparenchym auf ein einziges regelmässig ausgebildetes Tangentialband beschränkt, während der Zuwachs des zweiten Jahres, mindestens in seiner zuerst erzeugten Hälfte, ziemlich viel unregelmässig zerstreute bastparenchymatische Elemente enthält. Das Gesagte tritt sofort deutlich in die Erscheinung, wenn auf den Querschnitt eines 3-jährigen Zweiges verdünnte Schwefelsäure einwirkt. Die zerstreute Anordnung der parenchymatischen Elemente in dem Zuwachs der beiden ersten Jahre markirt sich alsdann sehr scharf.

Das Verhalten des secundären Zuwachses in Beziehung zu dem primären bei den anderen Coniferen liess sich annähernd voraussehen. Es musste dieser secundäre Zuwachs um so weniger von dem primären abweichen, je vollständiger auch in letzterem die eiweisshaltigen Elemente auf das Bastparenchym beschränkt bleiben. Die Regelmässigkeit in der Aufeinanderfolge der Elemente stellt sich aber im secundären Zuwachs aller Coniferen erst allmählich ein.

All das Gesagte führt aber wohl zur Vorstellung, dass diejenigen Coniferen, die auch im secundären Zuwachs ihre eiweisshaltigen Elemente im Bastparenchym behalten, dem ursprünglichen, durch den primären Zuwachs ausgedrückten Typus näher geblieben sind als diejenigen, welche die eiweisshaltigen Elemente auf die Markstrahlen übernehmen. Darnach werden sich die Araucarieen und Taxineen in dem secundären

Aufbau ihres Bastes dem primären Typus am meisten nähern; weniger schon die Taxodineen und Cupressineen, welche eiweissleitende Zellenzüge nicht nur im Bastparenchym, sondern auch in den Markstrahlen besitzen, am wenigsten die Abietineen, deren eiweisshaltiges Parenchym auf die Markstrahlen beschränkt wird. Das stimmt auch gut zu den paläontologischen Thatsachen und bestärkt mich in der Auffassung, der ich in früheren Publicationen Ausdruck zu geben suchte, dass es nicht statthaft sei, den Blüthenbau der Coniferen von den Abietineen aus zu deuten, es vielmehr weit naturgemässer sei, dies von den Taxineen aus zu versuchen.

Im Anschluss an die zuvor angeführten Untersuchungen über die Excentricität der Jahresringbildung suchte Mer auch die Ursachen des verschiedenen Rindenwachsthums zu ermitteln [1]). Es stellte sich heraus, dass an südlichen und westlichen Abhängen das Cambium der Kiefern in seiner Function gehemmt wird durch den Einfluss der Sonne, dass aber die Holzbildung mehr als die Rindenbildung hierdurch betroffen wird. Mer zeigt, dass das Verhältniss der Rindenbildung zur Holzbildung in allen denjenigen Fällen steigt, in welchen die Holzbildung weniger activirt wird. Dieses Verhältniss erreicht sein Maximum an der Basis des Stammes, sinkt dann und wächst wieder in dem oberen Stammtheil. In Bäumen mit verlangsamtem Dickenwachsthum fällt das Verhältniss stets zu Gunsten der Rinde aus. Südliche und westliche Expositionen begünstigen die Bildung der Borke und tragen auch in dieser Weise zur Verdickung der Rinde bei. Findet besonders kräftige Holzbildung statt, so sinkt oder steigt das Verhältniss zur Rindenbildung je nach den Umständen. Wird die Holzbildung durch geotropische Aufrichtung oder durch den Einfluss der Nachbarschaft gefördert, so sinkt das Verhältniss zu Ungunsten der Rinde; es steigt hingegen zu deren Gunsten, wenn die stärkere Holzbildung durch Parasiten veranlasst wird.

Ueber die Vertheilung des Gerbstoffes im Stamm der Coniferen habe ich keine eingehenden Untersuchungen angestellt, immerhin einige Erfahrungen zu sammeln Gelegenheit gehabt,

---

1) Influence de l'exposition sur l'accroissement de l'écorce du sapin. Journ. de Bot. 1889, p. 52 ff.

die im Anschluss an die letzte Publication von Gregor Kraus [1]) einiges Interesse beanspruchen dürften. Ich erwähnte bereits, dass die Calciumoxalat-Krystalle bei den Abietineen in einem gebräunten Zellinhalt eingebettet sind. Die Bräunung rührt vom Gerbstoff her. Die Zellen sind todt, collabirt und gelangen weiterhin unverändert in die Borke. Auch der nicht gebräunte Inhalt der die Krystalldrusen bei Ginkgo führenden Zellen reagirt auf Gerbstoff. Gerbstoffhaltig ist für gewöhnlich auch der Inhalt der Steinzellen, wo solche gebildet werden. Von diesen geringen Gerbstoffmengen abgesehen, die nach den Orten ihrer Vertheilung sich schon als aus dem Stoffwechsel beseitigte Producte zu erkennen geben, erscheinen aber die gesammten Stärkebahnen im Bastparenchym gerbstoffhaltig. Die Mengen des hier vertretenen Gerbstoffes sind so bedeutend, dass das ganze Präparat, nach Behandlung mit 10 % wässriger Kaliumbichromatlösung, sich meist dunkel rothbraun färbt. In diesem Verhalten stimmt die secundäre Rinde der Coniferen mit derjenigen der Dicotylen überein [2]), und der Gerbstoffgehalt der Rinde von Tsuga canadensis ist sogar so bedeutend, dass man dieselbe jetzt in den Vereinigten Staaten zum Gerben benutzt [3]). Nach Behandlung mit der angeführten Kaliumbichromatlösung bilden die Stärkekörner in den gerbstoffhaltigen Bastparenchymzellen, wie schon Russow angiebt [4]), ausserhalb der rothbraunen Gerbstoffmasse, wie einen Kranz heller Glasperlen. Die Vertheilung des Gerbstoffes in den stärkeführenden Bastparenchymzellen ist eine ungleiche; einzelne Zellenzüge zeichnen sich durch ihren Gerbstoffgehalt vor den anderen aus; auch sind wohl einzelne Zellen innerhalb solcher Zellenzüge besonders gerbstoffreich. Manche Zellreihen können auch ganz gerbstofffrei bleiben. Dieses Verhalten fand ich übereinstimmend in der secundären Rinde von Wurzel-, Stamm- und Astholz. Besonders gerbstoffreich erschien unter den von mir untersuchten Coniferen die schon erwähnte Tsuga canadensis, ausser-

1) Grundlinien zu einer Physiologie des Gerbstoffes, 1889.

2) Vergleiche vornehmlich Sanio, Einige Bemerkungen über den Gerbstoff und seine Verbreitung bei den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1863, p. 20.

3) Revue Horticole, 1888, p. 556.

4) Ueber den Inhalt der parenchymatischen Elemente der Rinde etc., Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch. 1882, p. 378.

dem Cedrus Libani und Wellingtonia gigantea; relativ ärmer Ginkgo biloba. Aus den zahlreichen, von Gregor Kraus angestellten Versuchen geht mit Sicherheit hervor, dass dieser Gerbstoff aus den assimilirenden Theilen der secundären Rinde zugeleitet wird [1]). Er bewegt sich abwärts [2]) wie die Kohlehydrate und benutzt dieselbe Bahn wie diese. In den Siebröhren [3]) und eiweisshaltigen Zellzügen habe ich ihn bei den Coniferen nicht gefunden, und was noch auffälliger ist, entweder gar nicht oder nur in sehr geringen Mengen in den Markstrahlen, vornehmlich denjenigen des Holzkörpers. So giebt auch schon Gregor Kraus gelegentlich an [4]), dass die Markstrahlen von Pinus keinen Gerbstoff enthalten. Bei der Kernholzbildung derjenigen Coniferen, die einen dunklen Kern erhalten, wird aber weiterhin neben Harz auch Gerbstoff erzeugt. Derselbe entsteht, wie das Harz, innerhalb der Markstrahlzellen, um sich beim Absterben derselben über die Tracheïden zu verbreiten. Ob dieser Gerbstoff ausschliesslich an Ort und Stelle gebildet oder auch zugeleitet wird, kann ohne Anstellung entsprechender Versuche nicht entschieden werden. Eine Zuleitung erscheint immerhin unwahrscheinlich. Denn während die Markstrahlzellen der verkernenden Holztheile sich mit den braun gefärbten Kernstoffmassen füllen, bleiben die Markstrahlen im Splint so gut wie gerbstofffrei. Das stellte ich für Wellingtonia gigantea und Juniperus chinensis fest, die beide einen dunkel gefärbten Kern besitzen. Bei diesen Färbungserscheinungen erfährt der Gerbstoff eine Oxydation oder Spaltung [5]) und liefert so die „Kernstoffe“, welche die Verkernung des Holzes mit bewirken helfen. Wo das Kernholz, d. h. dasjenige Holz, das keine lebendigen Elemente mehr führt, seine Farbe nicht oder kaum verändert, wie vor allem bei der Fichte, da

---

1) l. c. p. 9 ff.

2) Kraus, l. c. p. 23.

3) So giebt Sanio überhaupt an, l. c. p. 20, dass der Gerbstoff in den Siebröhren stets fehlt; Briosi will hingegen die Siebröhren von Vitis vinifera gerbstoffhaltig gefunden haben. Nuov. Gior. bot. Ital., Bd. IX, 1877, p. 42.

4) l. c. p. 56.

5) Mer, Recherches sur la formation du bois parfait, Bull. de la soc. bot. de France, Bd. XXXIV, p. 351; G. Kraus, l. c. p. 33.

ist die Gerbstoffproduction in den innerhalb der Verkernungszone liegenden Markstrahlen sehr eingeschränkt. Hier muss die an sich auch geringe Harzproduction zum Schutze des Kernholzes genügen; wo Gerbstoffproducte und Harz zugleich vorhanden, unterstützen sie sich in ihren fäulnisswidrigen Eigenschaften [1]).

Dass die Producte des Kernholzes bei allen kernholzbildenden Gewächsen auf den Inhalt der Markstrahlzellen und des Holzparenchyms zurückzuführen seien, darauf hat schon Sanio im Jahre 1860 [2]) hingewiesen und dies, im Anschluss an anderweitige Arbeiten [3]), neuerdings auch Praël wahrscheinlich zu machen gesucht.

Im Holzparenchym des Splintes bei den Coniferen war ähnlich wie im Bastparenchym, im Gegensatz somit auch hier zu den Markstrahlen, Gerbstoff nachzuweisen. Im Kernholze nimmt der Inhalt der Holzparenchymzellen, auch wo dieselben einen Harzgang umgeben, eine braune Färbung, entsprechend wie in den Markstrahlen, an.

Bei den Dicotylen spielt der Gerbstoff jedenfalls die Hauptrolle bei der Verkernung, wie das vornehmlich aus den Untersuchungen von Rob. Hartig [4]), von Gaunersdorfer [5]), von Mer [6]) und von Gregor Kraus [7]) hervorgeht. — Der Umstand, dass der Gerbstoff sehr ungleich in den stärkeführenden Bastparenchymzellen vertheilt ist, vor allem aber die Thatsache, dass er in den so stärkereichen Markstrahlbahnen vielfach ganz fehlt, spricht gegen dessen directe Betheiligung bei der Stärkeleitung. Es lässt sich dies Verhalten somit gegen die H. Möller'sche Hypothese [8]) geltend machen, dass die Kohle-

---

1) Vergl. auch Mer, l. c. p. 355.

2) Einige Bemerkungen über den Bau des Holzes, Bot. Ztg. 1860, p. 202.

3) Vergleichende Untersuchungen über Schutz- und Kernholz der Laubbäume, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 60 ff., dort auch die Litteratur.

4) Untersuchungen aus dem Forstbot. Institut zu München, II, p. 51.

5) Sitzber. d. Wiener Acad. d. Wiss., Bd. LXXXV, 1882, p. 41.

6) Bull. de la soc. bot. de France, Bd. XXXIV, 1887, p. 344.

7) l. c. p. 41.

8) Weitere Mittheilungen über die Bedeutung der Gerbsäure für den Stoffwechsel in der Pflanze, Mitth. d. Naturwiss. Vereins

hydrate als Gerbstoff-Glycoside, das heisst, dass sie in Verbindung mit Gerbsäure als Glycoside leicht zersetzbarer Natur in der Pflanze wandern. Wo ein Hemmniss in der Wanderung oder ein Verbrauch von Kohlehydraten eintritt, da soll, nach H. Möller, eine Zersetzung erfolgen, wobei die Gerbsäure ausgeschieden und Stärke abgelagert oder Cellulose gebildet wird. Dass in Markstrahlen der Laubhölzer die gesammte Stärke durch Gerbstoff ersetzt werden kann, wie bei Coniferen durch Harz, eventuell durch Harz und Gerbstoff, ist direct zu constatiren. Mer sprach sich auch dahin aus, man dürfe im Allgemeinen behaupten, dass überall dort, wo die Wanderung der Stärke aufgehalten wird, Gerbstoff und Harz auftreten [1]). Die Beziehungen von Gerbstoff und Stärke zu einander innerhalb der Stärkebahnen sind also noch unklar. Möller meinte, durch Reductionsprocesse könnte die Gerbsäure wieder in Kohlehydrate übergeführt werden. Die zahlreichen Beobachtungen von Gregor Kraus scheinen hingegen sicherzustellen, dass der in den Geweben abgelagerte Gerbstoff nicht mehr zur Verwendung kommt [2]). Wohl aber gewinnt der Gerbstoff für Rinde und Kernholz, vermöge seiner fäulnisswidrigen Eigenschaften, eine grosse Bedeutung. Der Gerbstoff gelangt mit in die Borke, wo er in den absterbenden Bastparenchymzellen gespalten wird und in die Zellhäute dringt. Diese erfahren hierbei die charakteristische Bräunung. Dass der Gerbstoff auch schon der lebenden Rinde einen Schutz gegen die Angriffe der Thiere gewährt, kann man nach Stahl's [3]) Untersuchungen annehmen.

Dass während der Umwandlung, welche der Inhalt der Bastparenchymzellen im Frühjahr erfährt, wenn an Stelle der zu Winteranfang aus der Stärke gebildeten Oeltropfen wieder Stärke auftritt, eine Abnahme des Gerbstoffes „wenigstens in den meisten Fällen nicht mit Evidenz wahrzunehmen ist“, gab

---

für Neu-Vorpommern und Rügen zu Greifswald, 1887, Sep.-Abdr. p. 18, und Anat. Unters. über das Vorkommen der Gerbsäure, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch. 1888, Generalvers., p. LXXV.

1) l. c. p. 361.

2) l. c. p. 20, 25 u. a. m.

3) Vergleiche Ernst Stahl, Pflanzen und Schnecken, 1888, p. 33.

schon Russow [1]) an. Gregor Kraus [2]) fand sogar an den von ihm untersuchten Objecten, im Frühjahr, beim Aufbrechen der Knospen, eine kleine, aber deutliche Steigerung des Gerbstoffquantums. Andererseits findet sich bei Russow [3]) die Angabe, dass, wenn auch „im Ganzen" keine Abnahme des Gerbstoffes in den Geweben, in denen er abgelagert war, sich constatiren liess, dieser Gerbstoff doch nicht in allen Zellen, in welchen er einmal aufgetreten ist, unverändert liegen bleibt, sondern dass man ihn später in Zellen vermisst, in welchen er anfänglich nachzuweisen war [2]). — Nicht unerwähnt möchte ich hier lassen, dass Russow in den Bastparenchymzellen von Larix beobachten konnte, dass „zwischen den grossen, mindestens vier Fünftel des Volumens der Zelle einnehmenden Gerbstoffballen und der Zellwand das Protoplasma sich in zahlreichen rotirend-circulirenden Strömchen bewegte" [4]). — Schliesslich möchte ich noch darauf hinweisen, dass die später zu besprechende Füllung der Tracheïden im Winter mit Glycose von Gerbstoffproduction nicht begleitet wird.

Thyllen habe ich in den Tracheïden der von mir untersuchten Coniferen nicht beobachtet. Im Wurzelholz der Bernsteinbäume, welche in ihrem Bau unseren Fichten sehr nahe stehen, fand Conwentz solche Thyllen [5]), und es wäre wohl denkbar, dass dieselben auch bei den lebenden Coniferen gelegentlich zur Beobachtung kämen.

Um ein vollständiges Bild von dem Bau und der Vertheilung der Leitungsbahnen im Coniferenstamm zu gewinnen, müssen wir auch die Structur der Blätter berücksichtigen.

Der Bau dieser Blätter bietet auch an sich ein besonderes Interesse, da die functionelle Differenzirung im anatomischen Bau derselben einen scharf ausgeprägten Ausdruck findet.

---

1) Ueber den Inhalt der parenchymatischen Elemente der Rinde vor und während des Knospenaustriebes etc., Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 377.

2) l. c. p. 25.

3) l. c. p. 382.

4) l. c. p. 381.

5) Ber. d. Deutsch. bot. Gesellschaft, 1889, p. (35).

Die Epidermis der Nadeln von Pinus silvestris zeigt sich fast bis zum Schwinden des Lumens verdickt; ihre mechanische Function fällt in die Augen. Sie wird noch verstärkt durch eine Schicht hypodermaler Sklerenchymfasern. Die Zahl der Harzgänge ist eine wechselnde. Constant treten uns die beiden an den Kanten des Blattes verlaufenden, die von Thomas [1]) daher auch als wesentlich bezeichnet werden, entgegen. Ausser diesen beiden wesentlichen Harzgängen zeigt die Ober- und vornehmlich die Unterseite noch einige andere „accessorische". Alle diese Harzgänge sind von einer Schicht stark verdickter Sklerenchymfasern umgeben. Diese Sklerenchymfasern schliessen nach aussen an die hypodermalen an. Dünnwandige Durchgangszellen in dem Sklerenchymbelage der Harzgänge, die Möbius [2]) neuerdings speciell behandelt hat, lassen sich in fertigen Kiefernadeln für gewöhnlich kaum auffinden. Die Spaltöffnungen sind bedeutend vertieft, an den seitlich angrenzenden, schwächer verdickten Epidermiszellen mit Charnier befestigt, in Streifen im Umkreis der ganzen Nadel vertheilt. Das über der Spaltöffnung befindliche Grübchen zeigt sich mit einer körnigen Substanz erfüllt, auf die K. Wilhelm [3]) hingewiesen und als eine wachsartige bezeichnet hat. K. Wilhelm fand die Grübchen über den Spaltöffnungen in solcher Weise, bei allen untersuchten Abietineen und bei manchen Cupressineen, hingegen nicht bei Taxus baccata, ausgefüllt. Er meint, dass die Grösse der Transpiration hierdurch herabgesetzt werde. — Das chlorophyllreiche Gewebe, das im ganzen Umkreis der Nadel an das Hypoderma, respective die Harzgangscheiden anschliesst, ist, wie bekannt, durch seine einspringenden Leisten ausgezeichnet, die faltenförmig in das Zelllumen hineinragen und so die Oberfläche vergrössern, an welcher Chlorophyllkörner Platz finden sollen [4]). In den äusseren Zellen dieses Gewebes ist die Falte senkrecht zur Blattoberfläche orientirt, in den tiefer gelegenen ohne bestimmte Orientirung. In jungen, noch in der Entwicklung begriffenen Blättern fällt es vielfach

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. V, p. 51.

2) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVI, p. 265.

3) Ueber eine Eigenthümlichkeit der Spaltöffnungen bei Coniferen, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1883, p. 325.

4) Haberlandt, Physiol. Pflanzenanat., p. 181.

auf, dass die Zellkerne der „Armpalissadenzellen“ der Kante der stärker wachsenden Membranleiste anliegen, oder mit ihr durch eine stärkere Plasmabrücke verbunden sind, eine Erscheinung, auf welche Haberlandt bei Pinus Pumilio bereits hingewiesen hat[1]). Die Armpalissadenzellen sind tafelförmig abgeflacht und zeigen sich an Querschnitten durch das Blatt lückenlos verbunden. Hingegen erscheinen sie auf entsprechenden Längsschnitten von einander getrennt, sind somit in einschichtige Zonen gelagert, welche mit dem inneren Rande an die den Centralcylinder umgebende Endodermis ansetzen. Es folgt somit aus diesem Bau, dass die assimilirenden Zellen der Kiefernadel ihre Producte nicht selbst abwärts leiten können, vielmehr an die Scheide des Centralcylinders abgeben müssen. — Der Bau dieses Centralcylinders ist nun besonders instructiv und soll durch die Fig. 13, Taf. I, vergegenwärtigt werden. Wie bekannt, durchlaufen zwei Gefässbündel, ohne sich zu verzweigen, diesen Centralcylinder und sind in ein Gewebe eingebettet, das aus inhaltführendem und tracheïdalem Parenchym, ausserdem aus verdickten und unverdickten sklerenchymfaserähnlichen Elementen besteht. An den beiden, etwas schräg orientirten Gefässbündeln ist der Siebtheil an seiner weissen Färbung von dem Gefässtheil leicht zu unterscheiden und setzt sich noch schärfer von demselben nach Jodbehandlung ab. Der Gefässtheil zeigt am äussersten Rande ein bis zwei Gruppen zerdrückter Gefässprimanen, dann folgen etwas weitlumigere Schraubentracheïden, hierauf setzen behöfte getüpfelte Tracheïden, dann zwei bis drei Lagen von Cambiumzellen, endlich die Elemente des Siebtheils die radialen Reihen fort. Zwischen die radialen Reihen der Tracheïden und Siebröhren sind markstrahlähnliche Reihen parenchymatischer Elemente eingeschaltet, die aber nicht Bänder, sondern Platten bilden, welche ununterbrochen durch die ganze Länge der Nadel verlaufen. Man kann sich vom Bau derselben auf radialen, besser noch auf tangentialen Längsschnitten unschwer eine Vorstellung bilden. Es sind das longitudinal gestreckte Parenchymzellen, die sich in geraden Reihen fortsetzen und mit quer gestellten Wänden auf einander stossen. Die Zahl der Parenchymplatten ist im Siebtheil grösser als im

1) Ueber die Beziehungen zwischen Function und Lage des Zellkernes bei den Pflanzen, 1887, p. 44.

Gefässtheil, wie das auch unsere Fig. 13 zeigt. Es setzt sich nämlich jenseits des Cambiums ein Theil der Tracheïdenplatten in Parenchymplatten fort. Von den Tracheïden ist zunächst zu bemerken, dass sie ganz vorwiegend nur an den geneigten Endflächen, mit denen sie auf einander stossen, getüpfelt sind, dass dort aber die behöften Tüpfel dicht gedrängt an einander stehen. Dem entsprechend haben auch die Siebröhren fast nur an den Terminalflächen Siebplatten aufzuweisen, und zwar sind diese Terminalflächen nur äusserst wenig geneigt, ein Verhalten, wie es schon von Russow [1]) als den Siebröhren in Blättern allgemein zukommend, hervorgehoben wurde. Die Tüpfelung der Tracheïden, wie der Siebröhren, zeigt somit an, dass diese Elemente für longitudinale Leitung innerhalb des Blattes eingerichtet sind. Die Länge der Tracheïden und Siebröhren ist aber wesentlich geringer als im Stamme. Die dem Gefäss- und Siebtheil gemeinsamen Parenchymplatten führen im Gefässtheil Stärke, im Siebtheil entweder auch ihrer ganzen Ausdehnung nach Stärke, oder diese nur in den äusseren Theilen. Diejenigen Parenchymplatten, die dem Siebtheil allein zukommen, sind vorwiegend stärkefrei, doch plasmareich. So auch verhalten sich im Siebtheil, wenigstens theilweise, die dem Cambium näheren Abschnitte der gemeinsamen Parenchymplatten. Auf entsprechend geführten Längsschnitten durch Nadeln, die in Alcohol zu einer Zeit eingelegt wurden, wo sie Stärke führten, also etwa im Spätherbst, sind die stärke- und plasmareichen Parenchymzellen des Siebtheils nach Jodbehandlung leicht zu unterscheiden; andererseits fallen auch die grossen, gestreckten Zellkerne der plasmaführenden Zellen auf. Wir dürfen hieraus schliessen, dass uns in diesen plasmareichen Elementen dieselben, die Geleitzellen vertretenden, Zellen vorliegen, die wir als eiweisshaltige Parenchymzellen in dem primären und secundären Zuwachs der Stamm-Gefässbündel unterschieden haben. Sie stehen hier auch in der nämlichen Beziehung wie dort zu den Siebröhren. In die Längsreihen dieses eiweisshaltigen und so auch des stärkeführenden Cribralparenchyms sind einzelne krystallführende Schläuche eingeschaltet. Wir finden, in einem Worte, in diesen Blattbündeln dieselben Elemente und auch in der nämlichen Anordnung wieder, wie in den primären Gefäss-

---

1) Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch. 1882, p. 313.

und Siebtheilen der Stammbündel. Zu einer Zusammenziehung der Parenchymplatten zu Bändern, wie sie in den Markstrahlen des secundären Zuwachses der Stammbündel uns entgegentreten, kommt es innerhalb der Blätter aber nicht, wenn auch der Zuwachs ihrer Bündel längere Zeit anhält. Dieser Zuwachs behält eben bis zuletzt den Charakter des primären. Die äussersten Zellenzüge der stärkeführenden Parenchymplatten im Siebtheil sind vielfach angeschwollen und abgerundet. Die Cribralprimanen findet man im fertigen Blattbündel zerdrückt. Dieselben konnten nur aus Siebröhren und eiweisshaltigem Cribralparenchym bestehen, denn ihre sämmtlichen Elemente wurden entleert. In älteren Nadeln erscheint auch ein nicht unbedeutender Theil des äusseren an die Cribralprimanen anschliessenden Siebtheils zerquetscht, von diesem Theile bleiben aber die stärkeführenden Elemente erhalten. Die den Gefässtheil durchsetzenden stärkeführenden Parenchymplatten bestehen aus längsgestreckten Zellen, die unter einander, besonders an den Terminalwänden, durch einfache Tüpfel communiciren; mit den Tracheïden sind sie durch einseitig behöfte Tüpfel verbunden. — Wie wir aus älteren Arbeiten, besonders den sorgfältigen Untersuchungen von de Bary [1]), wissen, geht der Gefässtheil jeder der beiden Blattbündel von Pinus, von der dem Blattrande zugekehrten Flanke, in einen tracheïdalen Saum über. Derselbe wird von gestreckten tracheïdalen Parenchymzellen gebildet, die unmittelbar seitlich an die Tracheïden des Gefässtheils anschliessen, wie jene mit doppelt behöften Tüpfeln besetzt, aber nur schwach verdickt sind, und mit queren Wänden auf einander stossen. Diesem tracheïdalen Saum entspricht, an derselben Flanke des Gefässbündels, ein vom Siebtheil ausgehender Saum, der von grossen, eiweissreichen Zellen gebildet wird [2]). (Vergl. die Fig. 13, links.) Diese

1) Vergl. Anat., p. 395.

2) Diese Elemente sind bis jetzt unbekannt geblieben, es müsste denn sein, dass Karlsson (Sitzber. d. botanischen Vereins in Lund, Bot. Centralbl., Bd. XXXVIII, 1889, p. 730) dieses Gewebe meint, indem er angiebt, dass das Phloëm in den Coniferenblättern „durch Transfusionsphloëm in das Gewebe der einfach porösen Transfusionszellen“ übergehe. Dann weiter: „Auch die Zellen des Transfusionsphloëms werden nämlich gegen die Flanke hin immer kürzer und weiter, so dass die äussersten iso-

Zellen treten scharf an Alcoholmaterial hervor. Sie zeichnen sich durch nicht unbedeutende Weite, grosse Zellkerne und den schon erwähnten Plasmareichthum aus. Sie besitzen nur relativ geringe Länge. Die Zahl der den Saum bildenden Reihen nimmt rasch ab und besteht in unserer Figur an der Anschlussstelle aus drei, in der nächsten Reihe aus zwei, hierauf aus nur einer Zelle. Die Grösse der Zellen nimmt andererseits in derselben Richtung zu. Solange mehrere Zellen in der Reihe vertreten sind, zeigen sie deutlich dieselbe radiale Anordnung wie die angrenzenden Siebtheilelemente. Ist der Saum aus tracheïdalem Parenchym mit Recht als Vertreter der feinen Gefässverzweigungen in angiospermen Blättern angesehen worden, so entspricht der Saum am Siebtheil denjenigen Zellen, die den Siebtheil an den Enden der Bündelzweige bei Dicotylen abschliessen und die von Alfred Fischer [1]) als „Uebergangszellen" bezeichnet worden sind. Die nahe Verwandtschaft dieser Uebergangszellen mit den in dem Siebtheil vertretenen eiweisshaltigen Elementen fällt ohne weiteres auf. Die beiden Bestandtheile des Saumes, der tracheïdale und der von Uebergangszellen gebildete, bleiben in Contact und hören zu gleicher Zeit auf. An beide setzt nun das Gewebe an, das die Hauptmasse des Centralcylinders darstellt und das aus kurzem, lebendem, inhaltführendem, und aus ebenso kurzem, tracheïdalem Parenchym besteht. Die lebendigen Elemente des Centralcylinders führen zeitweise reichlich Stärke. Sie sind zwischen den tracheïdalen Elementen unregelmässig vertheilt, aber unter einander, ebenso wie die tracheïdalen Elemente, zu einem zusammenhängenden Netzwerk verbunden. Die tracheïdalen Elemente communiciren durch die behöften Tüpfel, an deren Schliesshaut der verdickte Torus leicht zu erkennen ist. Die Wände des Hofes sind annähernd ebenso stark verdickt wie

---

diametrisch sind. In der unverholzten Membran kann man nur an Zellen, welche auf der Grenze gegen das Transfusionsgewebe liegen, Poren wahrnehmen, und zwar sehr niedrige. Auch der Inhalt geht nach aussen hin von feinkörnigem, farblosem Protoplasma in chlorophyllhaltiges über." Die charakteristischen Eigenschaften der von mir geschilderten eiweissreichen Zellen sind in der Karlsson'schen Schilderung nicht wiederzufinden.

1) Unters. über das Siebröhren-System der Cucurbitaceen, 1884, p. 66.

die gesammte gemeinsame Wand der anstossenden Zellen, daher diese Hoftüpfel in Flächenansicht, wie im Querschnitt sehr in die Augen springen. An den Wänden, welche die lebenden von den tracheïdalen Elementen trennen, fehlen Tüpfel überhaupt. Die Wände der tracheïdalen Parenchymelemente sind nur schwach, die der lebendigen gar nicht verholzt. — An den Siebtheil der Bündel lehnt von aussen eine einfache bis doppelte Schicht fast bis zum Schwinden des Lumens verdickter Sklerenchymfasern an. Die Verdickungsschichten dieser Sklerenchymfasern erscheinen weissglänzend, von Chlorzinkjodlösung werden sie schön violett gefärbt; schmale, spaltenförmige Tüpfel durchsetzen dieselben. Die meisten dieser Sklerenchymfasern zeigen sich durch dünne Querwände gefächert. An dem Saume von Uebergangszellen hören die Sklerenchymfasern auf, andererseits erscheinen sie zwischen den beiden Bündeln zu einer fortlaufenden, mehrschichtigen Platte vereinigt. Zur Zeit der grössten Stärkeaufspeicherung sind die Lumina der etwas weniger engen Sklerenchymfasern mit Stärke erfüllt. Innerhalb der mehrschichtigen Platte zwischen den beiden Bündeln bilden die Sklerenchymfasern kleine Intercellularen, die sonst im Centralcylinder fehlen. Die centrale Sklerenchymfaser-Platte setzt sich an der Innenseite der Bündel in gleich gestaltete Elemente fort, in welchen aber die Ausbildung der Verdickungsschichten vorwiegend unterbleibt, so dass sie auf die primären Wände beschränkt bleiben. Es sind das dieselben Sklerenchymersatzfasern, wie wir sie so oft im Baste der Stämme gefunden. An der Gefässseite der Bündel reichen die Sklerenchymfasern, respective Sklerenchymersatzfasern bis an den tracheïdalen Saum, so dass die Bündel von diesen Elementen bis auf die Stelle umfasst werden, von welcher der Saum ausgeht. Durch diesen aus tracheïdalen Elementen und Uebergangszellen gebildeten Saum communiciren die Bündel somit allein mit dem umgebenden Grundgewebe des Centralcylinders. — An derjenigen Flanke, welche beide Bündel einander zukehren, schliessen sie mit je einer stärkeführenden Parenchymplatte ab, die sich wie die übrigen, dem Gefässbündel eingeschalteten Parenchymplatten verhält, doch auch zweischichtig werden kann. Zu bemerken ist weiter noch, dass im Anschluss an die Uebergangszellen, an deren Aussenfläche, oft gestreckt parenchymatische, mit grossen Prismen erfüllte Krystallschläuche zu

beobachten sind. Nicht selten findet man auch Krystalle in dem engen Lumen einzelner an den Siebtheil angrenzender Sklerenchymfasern. — Um endlich auf die Endodermis zu kommen, so besteht dieselbe (Fig. 13*e*) aus Elementen, die in der Längsansicht rechteckig, im Querschnitt tonnenförmig erscheinen. Diese Zellen führen lebendigen Inhalt, unter Umständen auch Stärke. Ihre radialen Wände sind stärker verdickt. Sie zeigen sich, wie auch schon Zimmermann [1]) angiebt, im ganzen Umfange verholzt, besonders stark aber an den viel dickeren, radialen Wänden. Diese radialen Wände haben zahlreiche, quergestreckte Tüpfel aufzuweisen, welche die seitliche Communication der Endodermiszellen somit erleichtern; hingegen fehlen diese Tüpfel in den terminalen Wänden. In der Endodermis wird somit eine seitliche Leitung der von dem assimilirenden Gewebe zugeführten, respective an dasselbe abzugebenden Stoffe leicht erfolgen, eine Längsleitung dieser Stoffe hingegen auf Hindernisse stossen. Die äussere tangentiale Wand der Endodermiszelle zeigt an der Ansatzstelle der chlorophyllhaltigen Zellen keine Poren, die bei der geringen Dicke dieser Wand auch jedenfalls überflüssig sind. An der inneren Tangentialwand fehlen Tüpfel nach den gleich dünnwandigen, tracheïdalen Parenchymzellen, während die Verbindung mit den etwas dickwandigeren, inhaltführenden Zellen durch Tüpfel erleichtert wird. Dieselben Tüpfel kommen den gemeinsamen Wänden der inhaltführenden Parenchymzellen des Centralcylinders zu, und da diese Zellen in der Längsrichtung schräg oder geradlinig auf einander stossen, so geht daraus schon hervor, dass sie es sind, denen die Aufgabe zufällt, die Assimilate in der Längsrichtung zu leiten.

So gewährt der anatomische Bau einer Kiefernadel manchen Einblick in die voraussichtlichen Leistungen der einzelnen Gewebe, welche dieselbe aufbauen.

Nach der Spitze der Kiefernadel zu erlöschen die einzelnen Gewebe allmählich. Dieselbe besteht zuletzt nur noch aus gestreckten, verdickten Elementen, in welche auch der Centralcylinder übergeht. Die beiden Gefässbündel vereinigen sich an ihrem Ende, oder hören auch getrennt auf; sie laufen in einige Schraubentracheïden und Uebergangszellen aus. Die Endo-

1) Ueber das Transfusionsgewebe, Flora 1880, p. 5 Anm.

dermiszellen schliessen nicht über dem Scheitel des Centralcylinders zusammen, sie setzen sich vielmehr in stark verdickten Elementen fort, nachdem nächst innere zuvor schon die gleiche Verdickung erfahren. — An der Basis der Nadel wird der Saum aus Uebergangszellen und tracheïdalen Elementen immer mehr reducirt; die Zahl der verdickten Sklerenchymfasern nimmt an der Gefässseite der Bündel zu; die tracheïdalen und inhaltführenden Grundgewebszellen des Centralcylinders schwinden allmählich. Zugleich verliert das assimilatorische Gewebe seine charakteristische Ausbildung und wird schliesslich von locker verbundenen, abgerundeten Zellen gebildet, gegen welche sich der Umriss der Endodermis alsbald verwischt. In der Insertionshöhe der beiden Nadeln, dort, wo der Querschnitt den Vegetationskegel des Kurztriebes streift, sind die beiden Bündel auch an ihren, den Blattkanten zugekehrten Flanken durch verdickte Grundgewebszellen lückenlos abgeschlossen; eine Endodermis ist nicht mehr vorhanden, wohl aber lassen sich noch an der Aussenseite der Bündel einige tracheïdale Grundgewebselemente als solche erkennen. Jenseits dieser Elemente schliessen die lebendigen Zellen lückenlos zusammen. — Die Harzgänge der beiden Nadeln endigen blind oben und unten; am weitesten reichen in beiden Richtungen die beiden kantenständigen. Alle Harzgänge laufen an ihren Enden in einen Strang von Sklerenchymzellen aus [1]), welcher die Fortsetzung der die Harzgänge umhüllenden Sklerenchymfasern bildet und selbst alsbald erlischt.

Die Nadeln der Kiefer werden ziemlich regelmässig im October des dritten Jahres abgeworfen, doch kommt es vor, dass ein Theil derselben auch vier Jahre am Stamme verharrt. Gregor Kraus [2]) hat seiner Zeit darauf hingewiesen, dass die Kiefernadeln, auch die Nadeln anderer Pinus-Arten und verschiedener, doch nicht aller anderen Coniferen, während dieser ganzen Zeit an Länge zunehmen [3]). Es lässt sich nachweisen,

1) Vergl. auch Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, p. 332.

2) Botanische Mittheilungen, I, Mehrjähriges Wachsen der Kiefernadeln, Abhandl. d. Naturf. Gesellsch. zu Halle, Bd. XVI, 1883, p. 363.

3) G. Kraus nennt, als in die Länge wachsend, alle mit doppel- oder mehrzähligen Nadeln versehenen Coniferen, also die Sectionen Pinaster, Taeda, Strobus und Cembra, der engeren

dass gleichzeitig die Gefässbündel dieser Nadeln in die Dicke wachsen, eine Thatsache, auf welche, als auf eine den Coniferennadeln allgemein zukommende Erscheinung, schon Frank vor längerer Zeit hingewiesen hat [1]). Vergleicht man das Gefässbündel einer erstjährigen Nadel mit demjenigen einer vierjährigen, im Herbst, nach Abschluss der Vegetation, so findet man, dass der Durchmesser desselben wohl auf das Doppelte zugenommen hat. Der Gefässtheil und der Siebtheil sind aber nicht in gleichem Maasse gewachsen; das Wachsthum des letzteren hat wesentlich überwogen. Der Gefässtheil nahm etwa in dem Verhältniss von 3 zu 4, der Siebtheil über das Doppelte des Durchmessers zu. Zählt man die Elemente an einzelnen Stellen der Gefässbündel ab, so erhält man in der jungen Nadel, in einer radialen Reihe, etwa 4 ausgebildete, behöft getüpfelte Tracheïden und 6 Elemente des Siebtheils; in der alten Nadel wird man, unter gleichen Umständen, vielleicht 6 ausgebildete, behöft getüpfelte Tracheïden, und ca. 24 Siebröhren zählen. Die Elemente des Siebtheils haben sich somit in jedem Jahre um ihre volle Zahl vermehrt. Von diesen Elementen werden aber nur etwa die 6 zuletzt erzeugten in Function stehen, die übrigen, soweit nicht stärkehaltig, zerdrückt sein. Der sehr geringe Zuwachs des Gefässtheils in diesen und in anderen Coniferen-Laubblättern hat Frank [2]) veranlasst, diesen Zuwachs für den Gefässtheil ganz in Abrede zu stellen und ihm nur den Siebtheil zu vindiciren, thatsächlich findet er, wenn auch in sehr bescheidenem Maasse, innerhalb der Pinus-Nadeln auch an der Gefässseite statt. Die von G. Kraus ausgeführten Messungen ergaben, dass das Längenwachsthum der Kiefernadeln, „mindestens zum Theil, durch

---

Gattung Pinus; hingegen fand er die Erscheinung nicht bei den anderen Coniferen; so nicht bei den früher zur Gattung Pinus gerechneten Cedrus, Abies, Tsuga und Picea, auch nicht bei Araucaria, Pinus Pinsapo, Cephalotaxus Fortunei, Juniperus Oxycedrus, Podocarpus Koraiana, Cunninghamia u. s. w., den mehrjährigen Nadeln der Eibe, Edeltanne und Fichte. Auch mehrjährige Dicotylenblätter zeigten keine Grössenzunahme, l. c. p. 364 u. 365.

1) Ein Beitrag zur Kenntniss der Gefässbündel, Bot. Ztg. 1864, p. 187.

2) Ebendaselbst.

Wachsthum der vorhandenen Zellen, und zwar vorwiegend, aber nicht ausschliesslich, der in der Scheide befindlichen, stattfindet“ [1]). Die Angabe von J. Behrens [2]), dass im basalen Theile der Nadeln bei allen Pinus-Arten sich eine, Jahre hindurch in Thätigkeit bleibende, intercalare Zuwachszone befindet, entspricht nicht dem Thatbestande.

Wie der Stamm, führen auch die Nadeln der Kiefer und anderer einheimischer Coniferen im Winter nur Oeltropfen.

Doch wir wollen die Gefässbündel der Kiefernadeln noch weiter abwärts auf ihrem Wege verfolgen. Im Kurztrieb sind beide Bündelpaare zunächst getrennt, so dass zwei breitere und zwei schmälere primäre Markstrahlen zwischen denselben sich zeichnen. Die breiten Markstrahlen trennen das Bündelpaar der einen Nadel von demjenigen der andern, die schmäleren die beiden von einer Nadel stammenden Bündel. Aus dem genauen Vergleich der Querschnitte an der Uebergangsstelle kann man entnehmen, dass sich das Gewebe der Centralcylinder beider Nadeln in das Gewebe der Markkrone, der Markstrahlen und des Pericykels [3]) fortsetzt. Letzterer ist nur ein- bis zweischichtig. Es folgt auf denselben, nach aussen, die primäre Rinde, deren innerste Schicht zwar noch aus dicht zusammenschliessenden, in der Längsrichtung etwas gestreckten Zellen gebildet wird, sich aber als Endodermis nicht mehr besonders markirt. In den Gefässbündeln des Kurztriebes stellen sich Harzgänge ein, die in den Gefässbündeln des Blattes fehlten. Die an der Insertionsstelle der beiden Nadeln gegebene Gefässbündel-Anordnung geht alsbald verloren, indem sich die Gefässbündel in einen Kreis vereinigen, aus welchem, nach einander, die für die Schuppen bestimmten, einfachen Gefässbündel aus-

1) l. c. p. 367.

2) Zur Kenntniss einiger Wachsthums- und Gestaltungsvorgänge in der vegetabilischen Zelle, Bot. Ztg. 1890, Sp. 145.

3) Die von Van Tieghem eingeführte Bezeichnung habe ich bereits in meinem Botanischen Practicum, II. Aufl., adoptirt. Durchgeführt hat Van Tieghem den anatomischen Begriff des Pericykels für alle Pflanzentheile in seinen Eléments de Botanique, 1886, p. 82, 145, 238. Eingehender behandelt wurde der Pericykel auch vordem durch L. Morot, Recherches sur le Péricycle, ou couche périphérique du cylindre central chez les Phanérogames, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XX, p. 217.

treten. Wie das Verhalten des Centralcylinders der Nadeln beim Uebergang in den Kurztrieb lehrt, entspricht in der That der Centralcylinder einer Kiefernadel Bestandtheilen des Centralcylinders des Kurztriebes. In diesem Sinne hat schon Van Tieghem die in Betracht kommenden Verhältnisse gedeutet. Die allgemein gehaltene Angabe seiner Lehrbücher lautet [1]): „Jedes Gefässbündel des Stammes nimmt, indem es nach aussen biegt, um in ein Blatt zu treten, den ihm anliegenden Theil des Pericykels und der Endodermis mit. Wenn die Gefässbündel im Blattstiel isolirt bleiben, getrennt durch mehr oder weniger breite Parenchymstrahlen, so schliesst die Endodermis und der Pericykel um jedes derselben zusammen und umgiebt es mit einer doppelten Scheide (Compositen, Umbelliferen, Gramineen, Cycadeen etc.); so ist es stets, wenn nur ein Gefässbündel vorhanden (Coniferen). Vereinigen sich die Gefässbündel hingegen zu einem Bogen oder Ringe, so verschmelzen die einzelnen Abschnitte der Endodermis und des Pericykels, um den Bogen oder Ring in seiner ganzen Ausdehnung zu decken (Solaneen, Cucurbitaceen etc.). Wenn die Gefässbündel einzeln für sich von einer eigenen Endodermis und einem besonderen Pericykel umgeben sind, so hat der Blattstiel nichts aufzuweisen, das dem Centralcylinder des Stammes entsprechen würde, sein Bau kann als astelisch (astélique) bezeichnet werden. Wenn hingegen die Gefässbündel des Blattstiels zu einem Ringe angeordnet sind, der von einem gemeinsamen Pericykel und einer gemeinsamen Endodermis umgeben ist, so besitzt der Blattstiel, wie der Stamm, einen Centralcylinder, und sein Bau kann als monostelisch gelten. Die Aneinanderreihung der Bündel zu einem Bogen stellt einen vermittelnden Zustand dar.“ — Wir werden auf diese von Van Tieghem vertretenen Ansichten zurückzukommen haben; inzwischen ist hervorzuheben, dass Van Tieghem das ganze Grundgewebe des Centralcylinders der Pinusnadel als Pericykelgewebe, das von einer Endodermis umgeben wird, auffasst [2]). Thatsächlich lehrt aber das Verhalten des Central-

---

1) Eléments de Botanique 1886, p. 239; Traité de Botanique, II. Aufl., 1889, p. 842.

2) Vergl. auch die Erklärung zu der Figur des Nadel-Querschnittes von Pinus in Elém. de Bot., p. 245, und in Traité de Bot., p. 846.

cylinders der Kiefernadel, dass derselbe auch Bestandtheile des Markes in sich führt, und das Gleiche lässt sich auch für die Centralcylinder aller anderen Coniferenblätter, selbst derjenigen, in welchen dieser Centralcylinder nicht scharf abgesetzt ist, nachweisen. Ja, ich glaube weiter gehen zu können und behaupten zu dürfen, dass auch die Gefässbündel der dicotylen Pflanzen nicht nur Theile des Pericykels und der Endodermis, sondern auch des Markes, eventuell der primären Markstrahlen meist aus dem Stamme mit in das Blatt einführen. Diese Gewebstheile umschliessen aber unmittelbar die einzelnen Gefässbündel, während dasjenige Gewebe, welches in Blattstielen gemeinsam vom Gefässbündel umgeben wird und von Van Tieghem mit dem Mark des Stammes verglichen wird, sich in keinem Falle in das Mark des Stammes fortsetzt. — Von dem Gewebe, welches den Centralcylinder der Kiefernadel bildet, geht der nach aussen gekehrte Theil in den Pericykel des Kurztriebes über, während der nach innen gewandte Theil in die Markkrone, die an den Gefässbündelflanken gelegenen Theile in die grossen Markstrahlen des Kurztriebes sich fortsetzen. Daher der Centralcylinder der Kiefernadel in Wirklichkeit alle Theile des Grundgewebes des Centralcylinders des Stammes führt und in vollem Sinne des Wortes einem Theile des Stamm-Centralcylinders entspricht. Astelisch möchte ich daher auch einen solchen Bau nicht nennen, wohl aber als aus der Spaltung eines Centralcylinders in seine einzelnen Bestandtheile hervorgegangen, somit als schizostelisch bezeichnen. Seinem Anschluss im Stamm nach, kann ich das ganze Grundgewebe des Centralcylinders der Nadel hier nicht als Pericykel gelten lassen, komme dadurch freilich nicht in principiellen Gegensatz zu Van Tieghem's Auffassung, da Mark, primäre Markstrahlen und Pericykelgewebe als gemeinsame Bestandtheile des Grundgewebes des Centralcylinders einander morphologisch nahe verwandt sind. Auch functionell können sie einander mehr oder weniger vollständig vertreten, so als Orte morphologischer Neubildung. Dass der Pericykel des Centralcylinders als Ort solcher Neubildung vornehmlich fungirt, hängt nur mit dessen peripherischer Lage zusammen. Auf die anatomische Einheit des Pericykels, der Markstrahlen und des Markes hat bereits L. Morot hingewiesen [1]). Er hebt die Uebereinstimmung im Verhalten dieser

---

1) l. c. p. 294.

Gewebe nach verschiedenen Seiten hervor, wobei besonders auch die Eigenschaft des Markes betont wird, unter Umständen neuen Gefässbündeln den Ursprung geben zu können.

Aus dem Nachweis, dass es Theile des Centralcylinders des Stammes sind, die sich als Centralcylinder in die Nadeln der Kiefer fortsetzen, folgt zugleich, dass bei der Kiefer zwei Gewebssysteme, das dem Centralcylinder und das der primären Rinde gehörige, getrennt durch die ganze Pflanze laufen. Das Mesophyll des Blattes, das der primären Rinde des Stammes entspricht, schliesst mit seiner innersten, als Endodermis entwickelten Schicht den Centralcylinder der Nadel ab. Dem Gewebe der Rinde, im Blatte wie in der primären Rinde, fällt functionell die Aufgabe der Assimilation, dem Gewebe des Centralcylinders diejenige der Leitung zu. So wie bei Pinus ist es im Wesentlichen auch bei allen Gefässpflanzen, und die Vertheilung der beiden Gewebssysteme in der Pflanze und deren Abgrenzung gegen einander hat auch allgemeine Geltung.

Dass in der Kiefernadel die Leitungsbahnen jeglicher Art nur innerhalb des Centralcylinders liegen, das zeigt auch der Uebergang zum Kurztriebe. Nur die Elemente des Centralcylinders gehen in der Weise auf den Kurztrieb über, wie es die anatomische Continuität der Leitungsbahnen verlangt. Die starke Reduction, welche am Grunde der Nadel das Gewebe des Centralcylinders dieser Nadeln erfährt, zeigt weiter an, dass so verengte Bahnen, in Verbindung mit dem Parenchym der Gefässbündel, für die Abwärtsleitung der Kohlehydrate ausreichen.

Wie die Gefässbündel der Kiefernadel, so zeigen auch diejenigen des Kurztriebes, ein nachträgliches Wachsthum. Zur Bildung von Jahresringen kommt es aber auch im Kurztriebe nicht. Auch im Kurztriebe ist der Zuwachs der Siebtheile stärker als derjenige der Gefässtheile, doch erscheint der Unterschied nicht so gross wie in der Nadel. Der Holzkörper nimmt etwa im Verhältniss von 2 zu 3, der Siebtheil auf das Doppelte zu. Ich zählte in einem concreten Falle, im einjährigen Kurztriebe 9, in einem vierjährigen, an entsprechender Stelle, 14 ausgebildete Hoftüpfel-Tracheïden. Die Siebröhren älterer Jahrgänge werden auch im Kurztriebe zerdrückt. — Im Gegensatz zu den Kurztrieben von Pinus sollen die „Kurztriebe“ der

Cupressineen, nach P. Klemm [1]) schon in der ersten Vegetationsperiode das Wachsthum ihrer Gefässbündel abschliessen. Klemm giebt an, dass das Cambium noch in der ersten Vegetationsperiode ganz zu Dauergewebe werde. Die „Kurztriebe" sollen „noch in der ersten Vegetationsperiode ein Stadium erreichen, auf dem sie zeitlebens verharren", und nur am Vegetationspunkt weiter wachsen [2]). Ganz abgesehen davon, ob man die dicht beblätterten, abgeflachten Triebe der Cupressineen als Kurztriebe bezeichnen darf, muss ich bemerken, dass die Angabe über das Ausbleiben des Wachsthums ihrer Gefässbündel nicht zutrifft. Das Cambium geht nicht in Dauergewebe über, bleibt vielmehr, wenn auch nicht eben in ausgiebigem Maasse, thätig, so lange als das Spitzenwachsthum der betreffenden Triebe anhält.

Bekanntlich zeigt der Kurztrieb von Pinus an seinem Grunde eine ziemlich tiefe Einschnürung, so dass nur wenige Rindenschichten an jener Stelle die Epidermis von dem centralen Gefässbündelcylinder trennen. Doch ist es nicht an dieser Stelle, sondern etwas darüber, dass der zuvor absterbende Kurztrieb sich von der Mutteraxe trennt. Die Trennung erfolgt nicht durch Vermittlung einer Korkschicht, vielmehr bricht der Kurztrieb an jener Stelle unregelmässig ab. Die Gefässbündel schliessen ihre Elemente mit Harz zu, wobei gleichzeitig ihre Wandungen, sowie diejenigen der übrigen Zellen, an der verengten Stelle sich stark bräunen. Diese Bräunung setzt sich eine Strecke weit innerhalb des Gefässbündelcylinders fort.

Verfolgt man den Centralcylinder eines noch activen Kurztriebes in das Innere des Tragsprosses, so findet man, dass er dort in schrägem Verlauf sich dem Cambium nähert, bestimmte seiner Bestandtheile hierauf rechtwinklig den Holzkörper durchsetzen, um endlich an der Markkrone abwärtszubiegen. Tangentiale Längsschnitte führen uns diese Kurztriebspur innerhalb der primären Rinde zunächst als einen geschlossenen, von zahlreichen einschichtigen Markstrahlen durchsetzten Gefässbündelring vor, der sein Mark mit sich führt und auch im Umkreis von dicht zusammenschliessenden Zellen umgeben ist,

---

1) Ueber den Bau der beblätterten Zweige der Cupressineen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVII, p. 516.

2) l. c. p. 503.

die dem Pericykel und der Endodermis entsprechen. Dieser Umhüllung entledigt sich der Gefässbündelring an der Aussenfläche des Siebtheils des Tragsprosses, hierauf gehen seine Siebtheile in diejenigen des Tragsprosses über, während sich der Gefässtheilring, sammt Mark, in den Holzkörper des Tragsprosses fortsetzt. Zu diesem Gefässtheilringe ist noch zu bemerken, dass seine Elemente, gleich mit Eintritt in den Tragspross, schraubig-getüpfelte Verdickung erhalten, während sein Mark und seine Markstrahlzellen gestreckt parenchymatische Form annehmen. Diese Zellen sind inhaltsärmer, stärker verdickt und etwas weitlumiger im Mark, als innerhalb der markstrahlartig vertheilten Gewebeplatten. Innerhalb der ganzen Länge der Kurztriebspur bleiben die Tracheïden derselben wesentlich englumiger als diejenigen des Tragsprosses. Gleich nach Eintritt in die primäre Rinde des Tragsprosses macht sich in dem Gefässbündelcylinder des Kurztriebes die Tendenz geltend, den Anschluss grundwärts herzustellen. Zu diesem Zwecke beginnen sich alle radialen Reihen der Elemente in der oberen Hälfte der Kurztriebspur bogenförmig abwärts zu biegen. Man sieht die Elemente der Markstrahlen des Kurztriebes sich direct in die Elemente der Tragsprossrinde fortsetzen, und zwar in deutlich abwärts laufende Reihen derselben. Ueber der Kurztriebspur erscheinen die Elemente der primären Rinde des Tragsprosses zusammengedrängt und tangential gedehnt; ein Anschluss dieser tangential gedehnten Elemente an diejenigen der Kurztriebspur ist nicht zu constatiren; wohl aber gehen die obersten Markstrahlränder der Kurztriebspur in dicht angrenzende Rindenelemente über, welche abwärts der Oberfläche der Kurztriebspur folgen. Ganz dieselbe Erscheinung bietet sich weiterhin innerhalb des Siebtheils der Tragaxe. Hier sind es die Elemente des Siebtheils des Kurztriebes, die in abwärts laufende Elemente des Tragsprosses übergehen, wobei die bogenförmige Umbiegung beim Uebergang um so stärker wird, je mehr die anschliessenden Elemente sich dem oberen Rande der Kurztriebspur nähern. Fast noch schärfer markiren sich endlich diese Verhältnisse im Holzkörper und sollen für diesen durch unsere Fig. 40, Taf. II, zum Ausdruck gebracht werden. Dass hier ein Anschluss nach unten, durch all die Krümmungen, welche die Tracheïden ausführen, bezweckt wird, fällt sofort in die Augen. Ein directer Anschluss nach oben fehlt; es

rücken vielmehr die höher gelegenen Tracheïdenreihen auseinander, um der Kurztriebspur seitlich auszuweichen, und nähern sich einander erst wieder unter derselben, und zwar in dem Maasse, als es die von dieser abwärts eilenden, den Anschluss vermittelnden Tracheïdenreihen gestatten. Im Basttheil wie im Holzkörper wird auch stellenweise eine Verbindung zwischen den Markstrahlen des Kurztriebes und denjenigen der Tragaxe hergestellt. Radiale Längsschnitte lehren, dass die der Kurztriebspur ausweichenden Tracheïden des Tragsprosses eine schwache Krümmung nach aussen erfahren, und auch der Anschluss der Tracheïden des Tragsprosses an diejenigen des Kurztriebes ist mit einer Auswärtskrümmung verbunden. So wölbt sich denn auch das Cambium des Tragsprosses entsprechend nach aussen vor, dort, wo es in das Cambium des Kurztriebes übergeht, und zeigen daher tangentiale, im Bastkörper des Tragsprosses geführte Längsschnitte vielfach den Kurztriebcylinder bereits von Elementen des Holzkörpers umgeben, während der übrige Schnitt noch ganz im Baste verläuft. Mit ihrem Eintritt in den Gefässbündelcylinder des Kurztriebes verändern die Tracheïden der Tragachse ihre Verdickung und verengen sich zugleich. — An der Markkrone des Tragsprosses biegt die Kurztriebspur endlich abwärts ein, wobei ihre innersten Schraubentracheïden zwischen die anderen primären Gefässtheile, welche der Tragspross führt, sich einfügen und das Mark der Kurztriebspur in das Markgewebe des Tragsprosses direct übergeht. Wie Chlorzinkjodbehandlung, sowie Anwendung von schwefelsaurem Anilin und Phloroglucin lehren, sind die Elemente des Markes und der Markstrahlen, des Siebtheils, sowie das umgebende Parenchym an der Kurztriebspur unverholzt; verholzt zeigen sich nur die Tracheïden, und zwar auch nur die Verdickungsschichten derselben, hingegen nicht die primären, diese Tracheïden trennenden Wände. Die geringere Intensität der Färbung weist ausserdem noch auf einen etwas geringeren Grad der Verholzung der Verdickungsschichten dieser Tracheïden im Verhältniss zu demjenigen der Tracheïdenwände des Tragsprosses hin. Diese Einrichtung, vornehmlich das Ausbleiben der Verholzung der primären Wände, macht die nöthige Dehnung möglich, wie sie die Kurztriebspur innerhalb des wachsenden Holzkörpers des Tragsprosses erfährt. Der Gefässbündelcylinder des Kurztriebes

ist hier dem nämlichen Einflusse ausgesetzt, wie bei anderen Coniferen die direct in den Langtrieb eintretende Blattspur, und erfahren seine Tracheïden schliesslich auch dieselben Continuitäts-Unterbrechungen, wie sie Markfeld [1]) für jene Blattspuren beschrieben hat. Dieser schliesslichen Zerreissung der Tracheïden geht aber eine bedeutende Dehnung derselben voraus. Zuerst werden zerrissen die dem Mark des Kurztriebes nächsten Spiraltracheïden, dann folgen der Reihe nach die anderen, die spiralig getüpfelt sich zeigen. Dabei werden die scheinbar continuirlichen, netzförmig verbundenen Verdickungsleisten von einander getrennt und schraubenförmig auseinandergezogen. Die Zerreissung der zuvor gedehnten Partieen dieser Tracheïden erfolgt zur Zeit des stärksten Wachsthums der Kurztriebspur, somit in Absätzen, ähnlich wie dies Markfeld für Blattspuren angegeben hat. Sie findet in der Cambiumgegend des Tragsprosses statt und ist in ihren Abstufungen nach beiden Richtungen hin zu verfolgen. Während die dem Mark der Kurztriebspur jeweilig nächsten Tracheïden gedehnt und durchrissen werden, schaltet das Cambium neue im Umkreis ein. Da das Cambium des Tragsprosses direct in dasjenige des Kurztriebes übergeht, so greift auch, dem Bedürfniss entsprechend, die Bildung der neuen Elemente im beiderseitigen Cambium in einander. Es entstehen Tracheïden, die nur dem Tragspross oder nur dem Kurztrieb angehören und welche an einander nur anschliessen, oder auch solche, die aus einem Cambium in das andere reichen. Letztere Art des Anschlusses ist die herrschende, doch ist auch die andere häufig. Namentlich dort wo Tracheïden des Tragsprosses an Markstrahlelemente des Kurztriebes ansetzen, schliessen sie sich diesen nur mit ihren Enden an. Wie wir weiterhin sehen werden, kann auch der Uebergang der Tracheïden der Tragachse in diejenigen der einfachen Blattspur, entweder in der einen oder der anderen der eben geschilderten Weisen, erfolgen. Während die Tracheïden des Kurztriebes gedehnt und schliesslich durchrissen werden, erfahren die Markzellen des Kurztriebes eine solche Durchreissung nicht. Dieselben bleiben

1) Ueber das Verhalten der Blattspurstränge immergrüner Pflanzen beim Dickenwachsthum des Stammes oder Zweiges, Jena 1885, p. 81.

vielmehr in einer dem Cambium des Tragsprosses entsprechenden Zone theilungsfähig und vermehren sich dort durch Einschaltung neuer Querwände. Zugleich mit neuen Tracheïden werden andererseits auch neue Markstrahlzellen in die Kurztriebspur durch das Cambium von aussen eingeschaltet, während die älteren an dieser Stelle eine Dehnung erfahren und zum Theil obliteriren. — Von localen Schwankungen abgesehen, kann als häufigstes Verhalten gelten, dass es die inneren und mittleren Tracheïdenlagen der Jahresringe im Tragspross sind, die am vollständigsten in die Tracheïden der Kurztriebe übergehen. Das ist jedenfalls auch die Holzlage, deren Bildung in die Zeit der stärksten Transpiration fiel. Da die älteren Tracheïden der Kurztriebe gedehnt und schliesslich zerrissen werden, so ist es klar, dass es die letzten Jahresringe vornehmlich sein müssen, welche auch hier, trotz mehrjähriger Dauer der Nadeln, mit den Transpirationsflächen derselben am vollkommensten in Verbindung stehen. Es fällt somit diesen letzt erzeugten Jahresringen nicht nur die Versorgung der letzt erzeugten Nadeln, sondern der Hauptsache nach auch der älteren zu. — Ist der Kurztrieb abgeworfen worden, so erfährt die Kurztriebspur alsbald eine völlige Zerreissung innerhalb der Cambiumregion des Tragsprosses; ihre Reste auf beiden Seiten lassen sich aber lange noch in den Sprossen ausfindig machen.

Es liegt nicht in meiner Absicht, die anderen Coniferen-Blätter so ausführlich wie die Pinus-Nadeln zu behandeln. Auch will ich in den noch anzuführenden Beispielen mir eine bestimmte Einschränkung auflegen, indem es mir an dieser Stelle nur darauf ankommen soll, festzustellen, dass allen Coniferen-Blättern ausser dem tracheïdalen Saum auch ein solcher von Uebergangszellen zukommt, und zu constatiren, dass der Anschluss der Blattbündel an die Leitungsbahnen des Sprosses stets in übereinstimmender Weise erfolgt. Was die Ausbildung des tracheïdalen Saumes am Gefässtheilrande der Blattbündel anbetrifft, so kann ich auf die eingehenden Arbeiten, die diesen Gegenstand behandeln, vornehmlich diejenigen von H. v. Mohl [1]), de Bary [2]), Zimmermann [3]) und Scheit [4]) hinweisen.

1) Bot. Ztg. 1871, Sp. 10 ff.
2) Vergl. Anat., p. 195 ff.
3) Flora 1880, p. 2.
4) Jenaische Zeitschr. f. Naturw., Bd. XVI, N. F. I

In der Nadel der Fichte hat der centrale, von der Endodermis umschlossene Cylinder einen nur relativ geringen Durchmesser. Er schliesst scheinbar nur ein einziges Gefässbündel ein, das aber seine doppelte Zusammensetzung meist durch Ausbildung einer medianen, oft mehr als einschichtigen, markstrahlartigen Parenchymplatte verräth [1]). Je nach der Stärke der Nadel ist diese mediane Parenchymplatte stärker oder schwächer ausgebildet; häufig zeigen sich ihre peripherischen Elemente an der Siebtheilseite stark angeschwollen, unter Umständen sogar durch verdickte Sklerenchymfasern vertreten. Dieses Doppelbündel hat an seinen beiden freien Rändern den aus tracheïdalen Elementen und Uebergangszellen gebildeten Saum aufzuweisen. Die Uebergangszellen besitzen den mehrfachen Durchmesser der angrenzenden Elemente des Siebtheils, sind dicht mit plasmatischem Inhalt erfüllt und führen grosse Zellkerne. Sie stellen durchschnittlich je zwei radiale Reihen von zwei bis drei Elementen vor. Die übrigen Verhältnisse im Centralcylinder nähern sich sehr denjenigen von Pinus, doch mit entsprechender Reduction in der Zahl der Elemente. Wie schon erwähnt wurde, sollen die Fichtennadeln nach Gregor Kraus [2]) mit den Jahren nicht an Länge zunehmen. Die von mir untersuchten Exemplare zeigten hingegen entschieden eine, wenn auch freilich nur sehr geringe, Längenzunahme, und war nicht zu bezweifeln, dass sie auch ein wenig dicker geworden waren. Das Wachsthum des Gefässbündels ist dem entsprechend nur ein sehr beschränktes. In dem Gefässtheil lässt sich meist keine, eventuell nur die Zunahme um ein Element annehmen, so dass die Zahl der ausgebildeten Hoftüpfeltracheïden von drei auf vier etwa steigt. Etwas ergiebiger ist das Wachsthum im Siebtheil, vielleicht eine Neubildung von zwei bis vier Elementen, so dass die Gesammtzahl von acht auf zehn bis zwölf steigt. — Die Fichtennadel sitzt mit verengter Basis dem an seinem oberen Ende frei ausgegliederten, braunen Blattpolster auf. Die verengte Nadelbasis wird von verholzten Sklerenchymzellen eingenommen, welche dieselbe Verdickung wie die hypodermalen Sklerenchymfasern, doch nur geringe Länge zeigen.

1) Vergl. auch Thomas, Zur vergl. Anatomie der Coniferen-Laubblätter, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IV, p. 46.

2) l. c. p. 365.

Diese Sklerenchymzellen schliessen dicht zusammen und verbinden die stark verdickte Blattepidermis mit der an dieser Stelle sich ebenfalls stärker verdickenden Endodermis. Innerhalb dieses Sklerenchymmantels liegt der verengte Centralcylinder, und kann es auch nicht dem geringsten Zweifel unterliegen, dass die ganze Ableitung der Assimilate nach dem Stamme nur durch Vermittlung des letzteren erfolgen kann. Der Centralcylinder hat oberhalb der Durchtrittsstelle in seinem Bau eine Veränderung erfahren, indem sein Saum eingezogen wurde und alle sonstigen tracheïdalen Parenchymzellen aus demselben schwanden. Die zurückgebliebenen lebendigen Zellen des Centralcylinders sind aber enger geworden, haben sich seitlich gegen einander abgerundet und zahlreiche, relativ weite Intercellularen zwischen sich erzeugt. In solchem Zustand durchsetzt der etwas verengte Centralcylinder die Insertionsstelle der Nadel. — Den Angaben von Heinrich Mayr [1]) gemäss gehen in jungen kräftigen Nadeln die beiden Harzgänge innerhalb des Sklerenchymmantels durch die Insertionsstelle und setzen sich in die Rinde des Tragsprosses fort. Doch wird schon Mitte Juni, nach H. Mayr, die Verbindung durch Korkbildung unterbrochen, wobei sich der Harzgang in der verholzten Basis der Nadel mit Thyllen füllt und dort selbst verholzt. Andererseits hat schon Thomas [2]) hervorgehoben, dass die Fichtennadeln sich durch eine grosse Unbeständigkeit in dem Vorhandensein und in der Zahl ihrer Harzgänge auszeichnen. Den meisten der von mir untersuchten Fichtennadeln fehlten die Harzgänge vollständig. Manche Nadeln führen deren einen, andere zwei; auch sind die vorhandenen Harzgänge in ihrem Längsverlauf öfters unterbrochen. Endlich können auch noch accessorisch Harzgänge in flachen Nadeln nach Thomas vorkommen. — Das obere Ende des Blattpolsters nehmen flache, stark verdickte und verholzte Phelloidzellen ein, unter welchen die Ablösung der Nadel von dem gebräunten Gewebe erfolgt.

Innerhalb des Tragsprosses läuft die Blattspur zunächst eine Strecke weit abwärts, wobei sie sich nur langsam dem Baste nähert, denselben schliesslich durchsetzt und hierauf senk-

1) Bot. Centralbl., 1884, Bd. XX, p. 281.
2) l. c. p. 56.

recht durch den Holzkörper bis zum Marke eilt, um bogenförmig zwischen die primären Gefässtheile einzutreten. Auf seinem Wege innerhalb der Rinde zeigt sich das Doppelbündel von engeren, dicht zusammenschliessenden, gestreckt parenchymatischen Zellen umgeben, welche dem Pericykel und der Endodermis entsprechen. Vielfach prägt sich die Doppelnatur des Bündels in der Rinde scharf in der Divergenz seiner beiden Siebtheilhälften aus. Dadurch erhält das Doppelbündel die Gestalt eines umgekehrten Y, dessen beide Schenkel in die Cribralprimanen auslaufen. An der Aussenseite des Siebtheils der Tragachse entledigt sich das Bündel des seinen Siebtheil umfassenden Parenchyms, dann geht sein Siebtheil in denjenigen der Tragachse über, während sein Gefässtheil, und das demselben anliegende Parenchym, in den Holzkörper der Tragachse eintritt. Die Tracheïden des Gefässtheils der Blattspur nehmen schon innerhalb der Rinde dieselbe charakteristische schraubig-getüpfelte Structur an, wie wir sie für die Kurztriebtracheïden von Pinus beschrieben. Diese Structur behalten sie auch nach Eintritt in den Holzkörper der Tragachse, während das anliegende Parenchym hier stark verdickte und poröse Wände erhält. Weniger stark verdickt, und daher nur undeutlich getüpfelt, erscheinen die im Uebrigen gleich gestalteten, gestreckt-parenchymatischen Elemente, die, an die porösen Zellen anschliessend, sich als Markstrahlen zwischen den Tracheïdenreihen fortsetzen. So erklärt sich das Bild, wie es unsere Fig. 39, Taf. II, vorführt. Die porösen Zellen gehen in die Elemente der Markkrone des Tragsprosses über und stellen somit den, dem Mark des Stammes entsprechenden Theil des Centralcylinders der Nadel vor. Sie sind auch inhaltsärmer als das als Markstrahlen fungirende Parenchym und stehen zu demselben in ganz dem nämlichen Verhältniss, wie das in dem Bündelkreis der Pinus-Kurztriebspur vertretene Mark zu den von demselben ausgehenden Markstrahlen. Markfeld [1]) hat bereits bemerkt, dass die Blattspur der Fichte im Holzkörper der Tragachse von Zellen begleitet wird, die ziemlich stark verdickte Zellwände und einfache Poren haben. Er nennt diese Elemente „Begleitzellen". Es ist klar, dass diese Bezeichnung nicht adoptirt werden darf, nachdem die richtige morphologische Natur dieser Zellen als Markgewebe

---

1) Flora 1885, p. 85.

erkannt ist. Aus der Erläuterung zu der Querschnittsansicht Fig. 9, Taf. II (l. c.) scheint übrigens hervorzugehen, dass Markfeld die porösen Elemente, die ihm im Längsschnitt auffielen, erst tiefer innerhalb des Querschnitts wiederzufinden meint, während er die Spuren oben und unten von Markstrahlen eingeschlossen sein lässt. Thatsächlich liegen die Verhältnisse so, wie sie aus unserem Querschnitt Fig. 39 zu ersehen sind. Zu oberst wird die Spur dachförmig gedeckt von besonders stark verdickten und daher im Längsschnitt besonders stark porös erscheinenden Zellen: den Markzellen. Die Verdickung dieser Zellen nimmt nach innen zu ab, und erst von solchen schwächer verdickten Markzellen gehen die Markstrahlen der Spur aus, die sich zwischen die Tracheïdenreihen abwärts fortsetzen. Was Markstrahlelement, was Tracheïde ist, lässt sich auf den ersten Blick am ungefärbten Präparate nicht entscheiden, ergiebt sich aber nach entsprechender Behandlung aus dem Studium des Inhalts. Deutlich treten auch alle Tracheïden hervor, wenn man auf den Schnitt etwas schwefelsaures Anilin einwirken lässt. Die Verholzung der Tracheïden der Blattspur ist übrigens, wie man dies jetzt gleichzeitig feststellt, weniger stark als diejenige der Tracheïden des Tragsprosses, und sind die primären Wände der Spur-Tracheïden für alle Fälle unverholzt. Interessant ist das Ausweichen der Tragspross-Tracheïden, die Krümmungen und Gestaltänderungen, welche dieselben erfahren, oberhalb der Blattspur (Fig. 39). Querschnitte durch den Tragspross, welche eine Blattspur streifen, bieten daher zum Theil auch ganz eigene Bilder. So würde ein solcher Querschnitt oberhalb der in Fig. 39 dargestellten Blattspur eine Reihe tangential gestreckter Tracheïden ergeben haben. Radiale Längsschnitte zeigen am besten den Anschluss der Tragspross-Tracheïden an diejenigen der Blattspur. Man stellt fest, dass die Tragspross-Tracheïden sich verbinden, so wie wir es bei Pinus sahen, ihre Verdickung verändernd, direct sich in die Blattspur-Tracheïden fortsetzen, oder mit ihren Enden seitlich an dieselben anlegen, oder endlich, dass die Blattspur-Tracheïde mit ihrem Ende abwärts zwischen die Tragspross-Tracheïden einbiegt. Während bei der Kiefer, in allen denjenigen Schnitten, die mir zu Gesicht kamen, die Tracheïden des Tragsprosses cambiumwärts ausbogen, um in die Kurztrieb-Tracheïden überzugehen, traten mir, an mehrjährigen Trieben der

Fichte, häufig markwärts eingebogene Tracheïden entgegen. Diese Umbiegung konnte sowohl Tragspross-Tracheïden als Blattspur-Tracheïden treffen. Umgebogene Tragspross-Tracheïden legen sich sodann mit ihrem Ende entweder den Blattspur-Tracheïden an, oder sie biegen sich nochmals um, nunmehr cambiumwärts, um innerhalb der Blattspur zu endigen. Entgegengesetzte Krümmungen erfahren unter den gleichen Umständen die Blattspur-Tracheïden. Solche markwärts gerichtete Einbiegungen der Tragspross-Tracheïden waren besonders häufig ausserhalb der stärksten Zuwachszone des Tragsprosses, also innerhalb des Frühholzes zu beobachten. Innerhalb des Folgeholzes pflegten die Tragspross-Tracheïden dann meist fast rechtwinklig auf die Blattspur zu stossen und weiterhin, innerhalb des Spätholzes, sich cambiumwärts zu krümmen. — Der Anschluss der Elemente des Tragsprosses an diejenigen der Blattspur vollzieht sich längs der grundwärts gerichteten Hälfte derselben. Die Markstrahlen der Blattspur treten stellenweise zu den Markstrahlen des Tragsprosses in Beziehung, vorwiegend liegen sie mit einseitig behöften Tüpfeln den Tracheïden des Tragsprosses an. Der Uebergang der Tragspross-Tracheïden in die Blattspur-Tracheïden ist oft, doch nicht immer, deutlich vollkommener innerhalb der Region des Frühholzes. — Wie Markfeld es im Besonderen für die Fichte geschildert hat[1]), findet auch in der Blattspur derselben ein Zerreissen der Tracheïden in ähnlicher Weise statt, wie wir es in der Kurztriebspur der Kiefer gesehen. Wie wir hinzufügen können, erfolgt auch hier zunächst eine Streckung der Tracheïden, deren spiralgetüpfelte Verdickungsschicht zu einem Schraubenbande ausgestreckt wird, während die nicht verholzten primären Wände eine Dehnung erfahren. Ganze Complexe von Tracheïden werden hierauf innerhalb einer dem Cambium des Tragsprosses entsprechenden Zone durchrissen. Wie nach der Holzseite Tracheïden und Parenchym, so schaltet die Cambiumzone nach der Bastseite Siebröhren und Parenchym der Blattspur ein. Die Spur abgeworfener Nadeln wird dann, wie schon Markfeld angiebt[2]), innerhalb der Cambiumzone definitiv durchrissen, und zwar in dem auf das Abwerfen folgenden Jahr. An dem Hauptstamm

1) l. c. p. 82.
2) l. c. p. 84.

wie an den Aesten der Fichte können aber die Nadeln bis 10 Jahre, ja selbst darüber, verharren.

Ebenso leicht wie bei der Kiefer und der Fichte, ist es bei der Edeltanne, an Alcohol-Material, den Saum aus Uebergangszellen nachzuweisen. Er folgt dem Aussenrande der beiden deutlich gegen einander abgesetzten, doch nur durch eine schmale Gewebsplatte von einander getrennten Gefässbündel und ist nicht anders als bei der Fichte gebaut. Der tracheïdale Saum greift, den Angaben von de Bary (l. c.) entsprechend, um den Siebtheil. Er umfasst auf diese Weise den Saum aus Uebergangszellen, wird aber von einzelnen Zellen desselben, die bis zur Endodermis reichen, durchbrochen. Die Endodermis selbst ist bei der Edeltanne weniger scharf als bei der Kiefer und bei der Fichte gegen die Umgebung abgesetzt.

De Bary giebt (l. c.) an, dass unter den von ihm untersuchten Coniferen der tracheïdale Saum nur bei Larix europaea fehle, oder doch höchst schwach entwickelt sei. Der Saum aus Uebergangszellen, das sei zunächst hervorgehoben, ist bei der Lärche an den beiden Kanten des, durch eine mehr oder weniger breite Parenchymplatte, halbirten Doppelbündels vertreten und nicht anders als in den zuvor betrachteten Fällen entwickelt. Andererseits giebt Scheit[1]) an, dass „von den Flanken des Gefässtheils sich ein Stück weit um den Siebtheil zwei Gruppen von je 3 bis 4 grosslumigen, netzfaserig verdickten Saumtracheïden“ erstrecken. „Zwischen den Netzfasern sind“, nach Scheit, „zuweilen Hoftüpfel zu bemerken, sowie an macerirtem Material alle möglichen Uebergänge zwischen beiden Verdickungsformen.“ Ich finde, dass die Gefässtheile des Doppelbündels an den freien Flanken in tracheïdale Elemente auslaufen, die von gestreckt parenchymatischer Gestalt, netzfaserig verdickt, zum Theil mit grossen behöften Tüpfeln versehen sind. Der Saum aus Uebergangszellen setzt an eine vorwiegend zweischichtige Lage lebendiger, eventuell stärkeführender, parenchymatischer Elemente an, welche das Doppelbündel mehr oder weniger vollständig umgeben. An der Siebtheilseite sind in diesem parenchymatischen Gewebe auch tracheïdale, netzförmig verdickte und behöft getüpfelte Elemente vertreten, die mit dem tracheïdalen Saum des Doppelbündels in Verbindung stehen. Dem

1) l. c. Sep.-Abdr. p. 11.

Siebtheil liegen unmittelbar einige stark verdickte Sklerenchymfasern an, welche eventuell auch bis zur Endodermis reichen und so die parenchymatische Umhüllung des Doppelbündels unterbrechen können. An den Gefässtheil schliessen ebenfalls langgestreckte, unverdickte oder zum Theil auch verdickte Sklerenchym-Ersatzfasern, respective Sklerenchymfasern an, von denen erstere zum Theil Krystallprismen führen und das parenchymatische Hüllgewebe meist ganz unterbrechen. Die das Doppelbündel halbirende Parenchymplatte geht vielfach aus der Siebtheilseite schon in verdickte Sklerenchymfasern über. — Der so gebaute, relativ enge Centralcylinder, der im Uebrigen dieselben Elemente wie bei den zuvor betrachteten Abietineen führt, wird von der, an ihren relativ weitlumigen Elementen kenntlichen, der Schwefelsäure widerstehenden Endodermis umgeben. Diese Endodermis kann öfters recht unregelmässig entwickelt, und dann an einzelnen Stellen weniger scharf vom Gewebe des Centralcylinders abgesetzt sein. An die Endodermis schliessen senkrecht die Elemente des assimilirenden Mesophylls an. Innerhalb der Blattflügel, welche die Spaltöffnungen führen, ist dieses assimilirende Gewebe deutlich in quere Platten gesondert. So schliesst auch der Bau der Larix-Nadel, wie wir sehen, im Wesentlichen an die bei Pinus geschilderten Verhältnisse an und verräth nicht weniger durchsichtige Beziehungen zwischen diesem Bau und den auszuübenden Functionen.

Die mit Hoftüpfeln und von diesen entspringenden, zapfenförmigen Fortsätzen versehenen Elemente des tracheïdalen Saumes von Juniperus communis sind von H. v. Mohl, de Bary, Zimmermann, Scheit und Anderen geschildert worden, und sei hier im Besonderen auf die Beschreibung und die Litteraturübersicht bei Scheit[1]) hingewiesen. In der Abbildung, die de Bary[2]) von Juniperus communis entwirft, müssten die Uebergangszellen, in welche der Siebtheil des nur einen Bündels nach beiden Seiten ausläuft, und die in der Abbildung angegeben, aber als solche noch nicht erkannt und daher auch nicht betont sind, besonders hervorgehoben werden. Diese Uebergangszellen treten nur an Alcohol-Material scharf hervor und zeichnen sich

1) l. c. Sep.-Abdr. p. 13.
2) Vergl. Anat. p. 397, Fig. 184.

alsdann durch ihren reichen plasmatischen Inhalt und ihre grossen Zellkerne aus. In dieser Eigenschaft weichen von ihnen nur wenig die Parenchymplatten ab, welche markstrahlartig den Siebtheil durchsetzen. Sie alterniren oft fast regelmässig mit den Siebröhren, oder es folgen auch zwei und mehr Siebröhrenreihen auf einander. Die Parenchymzellen sind weitlumiger als die angrenzenden Siebröhren und nehmen nach aussen meist noch an Umfang zu. Auch diese Elemente müssten in der de Bary'schen Figur durch ihren Inhalt kenntlich gemacht werden. Im Gefässtheil sind auch beim Wachholder die markstrahlartigen Parenchymplatten weit weniger zahlreich als im Siebtheil. An Querschnitten lassen sich deren Elemente kaum von den Tracheïden unterscheiden, da sie nur spärlichen Inhalt führen und ebenso stark verdickt und verholzt wie jene sind. Längsschnitte lehren, dass ebenso wie bei den Abietineen, auch hier die markstrahlartigen Parenchymplatten im Gefäss- und Siebtheil als geschlossene, von gestreckten Parenchymzellen gebildete Gewebsplatten, durch die ganze Länge des Blattes laufen. Sehr auffallend ist hier auch auf Längsschnitten die Zusammendrängung der Hoftüpfel auf die Terminalwände der Tracheïden, während die Seitenwände derselben fast tüpfelfrei bleiben. An Querschnitten aus Alcohol-Material stellt man fest, dass der Durchmesser der Uebergangszellen grösser als derjenige der Parenchymzellen des Bündels wird, und dass diese Uebergangszellen in eine einschichtige Kante auslaufen. Diese Kante setzt an die Scheide an, die hier von grösseren, lückenlos verbundenen, longitudinal-gestreckten Zellen gebildet wird. Eine scharfe Abgrenzung des Centralcylinders und der Endodermis gegen das umgebende Mesophyll ist hier aber nicht vorhanden, und lässt sich auch keine Zellschicht nachweisen, die der Schwefelsäure besonders widerstände. Der tracheïdale Saum ist hier weit stärker als derjenige aus Uebergangszellen entwickelt; er umfasst den letzteren seitlich und schliesst dann an die Scheide an.

Ueber das Blatt von Taxodium distichum will ich nur bemerken, dass auch bei diesen nicht allein ein tracheïdaler, von behöft getüpfelten Elementen gebildeter Saum vorhanden ist [1]), sondern auch ein solcher aus Uebergangszellen. Die Elemente

1) Vergl. auch Scheit, l. c. Sep.-Abdr. p. 12.

der markstrahlartigen Parenchymplatten bleiben bei Taxodium nicht allein im Siebtheil, sondern auch im Gefässtheil des Bündels relativ dünnwandig und sind somit in Querschnitts-Ansicht leicht zu unterscheiden.

Die markstrahlartigen Parenchymplatten markiren sich ebenfalls scharf, sowohl in dem einen Blattbündel von Araucaria excelsa, als auch den fünf und mehr Blattbündeln von Araucaria brasiliensis. Der Saum aus Uebergangszellen zeigt sich in gewohnter Ausbildung. Die relativ weiten, tracheïdalen Saumelemente folgen der Innenfläche des Gefässtheils. Der wenigschichtige Pericykel ist nicht scharf gegen die Umgebung abgesetzt und eine besonders markirte Endodermis nicht nachzuweisen. — Auch die mehrsträngige Blattspur von Araucaria brasiliensis tritt zu einem einzigen Bündel verschmolzen in den Gefässbündelcylinder des Tragsprosses ein [1]). Der Gefässtheil dieses Bündels durchsetzt alsdann in etwas schräger Richtung den Holzkörper dieses Sprosses. Bei Araucaria brasiliensis, wo ich diese Verhältnisse näher studirte, wird die Blattspur an ihrer Oberseite, ganz wie bei der Fichte, von gestreckten Parenchymzellen begleitet; diese Zellen sind hier collenchymatisch verdickt. Sie setzen sich bis in die Markkrone fort und müssen somit auch als Markbestandtheil der Blattspur gedeutet werden. Der etwas schräge Verlauf der Blattspur bringt es mit sich, dass die Tracheïden der Tragachse unmittelbar in die Blattspur übergehen können. Während sie bogenförmig nach aussen biegen, verändern sie zugleich ihre Wandverdickung. Die Durchreissung der älteren, oberen Tracheïden der Blattspur innerhalb der dem Cambium des Muttersprosses entsprechenden Zone, ist hier besonders auffällig und auch von Markfeld schon geschildert worden [2]). Die Durchreissung erfolgte in dem von mir studirten Aste so frühzeitig, dass kaum mehr als die äusseren Zuwachszonen des Tragsprosses mit dem Blattbündel in directer Verbindung standen. Nach Markfeld [3]) soll im Stamme von Araucaria brasiliensis die Blattspur noch zu wachsen fortfahren, nachdem das zugehörige Blatt abgeworfen wurde. Er konnte

1) Vergl. auch Th. Geyler, Ueber den Gefässbündelverlauf in der Laubblattregion der Coniferen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VI, p. 168.

2) l. c. p. 87.

3) l. c. p. 89.

dies sogar noch an 16- bis 17-jährigen Stamminternodien eines Exemplars, das dicht über der Wurzel abgeschnitten worden war, feststellen. Die betreffenden Internodien hatten seit 8 bis 9 Jahren ihre Blätter geworfen. Es wäre denkbar, dass dieses Verhalten durch das sehr lange Fortbestehen der primären Rinde hier bedingt sei.

Als letztes Beispiel sei Taxus baccata ins Auge gefasst. Die Beschreibung soll sich zunächst auf ein älteres, am Schluss der zweiten Vegetationsperiode befindliches Blatt beziehen. In dem medianen, flachen Bündel wiegt der Siebtheil über den Gefässtheil vor. Die markstrahlartig im Gefässtheil vertheilten Parenchymzellen sind wesentlich schmäler als die angrenzenden Tracheïden, radial gestreckt, unverdickt, eventuell mit Stärke angefüllt. Im Siebtheil nimmt ihr Durchmesser nach aussen zu, und sie führen dort nur plasmatischen Inhalt. In solch älterem Blatte sind die äusseren Partien des Siebtheils bereits ausser Function gesetzt und flachgedrückt. Der tracheïdale Gefässbündelsaum von Taxus war der erste, der genau, und zwar von Frank [1]), beschrieben wurde. Die Frank'sche Figur 13 (l. c. Taf. IV) kann als Ausgangspunkt für die hier gegebene Schilderung dienen. Der an seinen Kanten verschmälerte Gefässtheil geht durch einige Zwischenformen in das tracheïdale Parenchym des Saumes über, das netzförmig verdickt und mit Hoftüpfeln versehen ist. Die Wände dieser tracheïdalen Zellen sind verholzt, doch dünner als diejenigen der Gefässtheil-Tracheïden. Mit den tracheïdalen Zellen des Saumes sind glattwandige, lebendige untermischt; stehen ihnen aber an Zahl nach. Der so zusammengesetzte Saum erreicht fast die Dicke des ganzen Gefässbündels. An den Siebtheil grenzen zu beiden Seiten grosse, plasmatische Uebergangszellen. Diese Zellen sind in der Frank'schen Abbildung als solche deutlich zu erkennen, und giebt er bei Schilderung der Erschöpfung des Bündels in der Blattspitze an, es blieben dort vom Bastkörper „nur die kurzen, mehr oder weniger in Parenchym übergehenden Bastzellen übrig, die auf dem Verlaufe durch das Blatt beiderseits den Bast begrenzen und in ihn übergehen“ [2]). Der Be-

1) Ein Beitrag zur Kenntniss der Gefässbündel, Bot. Ztg., 1864, p. 167.

2) l. c. p. 169.

schreibung von Frank entsprechend, folgen in dem Gefässtheil der Bündel, von innen nach aussen, Ring-, Schrauben- und Netz-Tracheïden, dann die mit Hoftüpfeln und dem dünnen tertiären Schraubenbande versehenen Tracheïden, auch hier dadurch ausgezeichnet, dass sie vorwiegend nur an den Terminalwänden getüpfelt sind. Im Siebtheil des Blattbündels fehlt die regelmässige Abwechslung der Elemente, wie wir sie im Bast des Stammes fanden. Die radialen, zwischen den Markstrahlen gelegenen Reihen bestehen dort ausschliesslich aus Siebröhren, die markstrahlartigen Parenchymplatten aus ebenso continuirlich durch die ganze Länge des Blattes fortlaufenden eiweisshaltigen Elementen. Daher kommt es, dass in den zerdrückten Siebtheilen, in welchen die Siebröhren ausser Function gesetzt sind, auch die Parenchymzellen ausnahmslos obliterirt sich zeigen. Die Zahl der markstrahlartigen Gewebsplatten ist hier im Siebtheil nicht wesentlich grösser als im Gefässtheil. Auch in letzterem bestehen sie aus continuirlich fortlaufenden gestreckten, stärkeführenden Parenchymzellen. Der aus den tracheïdalen Elementen und den Uebergangszellen gebildete Saum schliesst an das übrige, das Bündel umgebende Grundgewebe des Centralcylinders an. Dieser ist hier, im Gegensatz zu den Abietineen, nicht scharf gegen das umgebende Mesophyll abgegrenzt und ist besonders dazu angethan, die Structurverhältnisse zu charakterisiren, wie sie ausserhalb der Abietineen für die Coniferen-Blätter gelten[1]). Das Grundgewebe des Centralcylinders besteht hier aus lückenlos verbundenen, longitudinal gestreckten Zellen, welche ausserdem englumiger als das umgebende Mesophyll erscheinen. An der Siebtheilseite des Bündels ist das Grundgewebe des Centralcylinders vorwiegend zweischichtig, stärker ist es an der Gefässtheilseite des Bündels und zeigt dort, in unmittelbarem Anschluss an den Gefässtheil, besonders enge Elemente. Eine von der Umgebung verschiedene Endodermis ist auch mit Hilfe von Schwefelsäure nicht nachzuweisen. Nach diesem das Bündel einschliessenden Centralcylinder convergiren deutlich die an das Palissadenparenchym der Blattoberseite ansetzenden Sammelzellen und die übrigen schwammparenchymatischen Elemente.

---

1) Vergl. hierzu die zahlreichen Abbildungen zu Bertrand, Anatomie comparée des tiges et des feuilles chez les Gnétacées et les Conifères, Ann. d. sc. nat. Bot., V. sér., T. XX, 1874, p. 5.

Vergleicht man ausgewachsene letztjährige Taxus-Blätter, etwa Ende Juli, mit den mehrere Jahre alten, so wird man zwar, wie dies Gregor Kraus schon hervorhebt [1]), kein nachträgliches Längenwachsthum an denselben mit Sicherheit constatiren können, wohl aber finden, dass die Menge der ausser Action gesetzten Elemente des Siebtheils von Jahr zu Jahr zunimmt [2]). Während der Zuwachs an der Siebtheilseite ein sehr ergiebiger ist, findet er nach der Gefässtheilseite nur in sehr beschränktem, oft kaum nachweisbarem Maasse statt. Er beträgt im Laufe der Jahre nur etwa zwei Tracheïden, so dass die Gesammtzahl dieser Elemente, innerhalb der einzelnen Reihen, etwa von 4 auf 6 steigt. Nur die Blattspitze kann von diesem Verhalten, wie Frank gezeigt hat [3]), eine Ausnahme bilden und eine nicht unbeträchtliche Dickenzunahme auch des Gefässtheils aufweisen. Die dort hinzugebildeten Tracheïden zeichnen sich durch sehr unregelmässige, netzförmige Verdickungsschichten aus. Die Zahl der nach der Siebtheilseite erzeugten Elemente soll nach Frank jährlich 3 bis 4 betragen. — Ich finde öfters die thätige Bastzone in jüngeren Blättern etwas stärker als in älteren, was mit der verminderten Thätigkeit der älteren, zumal durch die jüngeren Sprosse mehr oder weniger beschatteten Blätter, und die geringeren Anforderungen, die somit an die ableitenden Bahnen gestellt werden, zusammenhängen dürfte. Die an verdickte Siebröhren unmittelbar angrenzenden Uebergangszellen werden öfters zugleich mit diesen ausser Function gesetzt.

Nach der Spitze des Blattes zu verliert der Siebtheil fort und fort an Dicke und an Breite, während die Uebergangszellen seiner beiden Kanten erhalten bleiben, so wie dies Frank bereits richtig bemerkt hat. Zuletzt schliesst der Siebtheil mit einigen Uebergangszellen rasch ab. Der Gefässtheil hört gleichzeitig mit einigen Schraubentracheïden auf, während das tracheïdale Parenchym des Saumes, das lange zuvor schon an der Innenfläche des Gefässtheils zusammenschloss, in unveränderter Stärke noch längere Zeit erhalten bleibt. In diesem trache-

1) Mehrjähriges Wachsen der Kiefernadeln, Bot. Mitth., Abhandl. der naturf. Gesellsch. zu Halle, Bd. XVI, 1885, p. 365.
2) Vergl. auch Frank, l. c. p. 187.
3) l. c. p. 186.

ïdalen Parenchym bleiben bis zuletzt auch die lebendigen, untereinander netzförmig zusammenhängenden Zellen vertreten. So schliesst der tracheïdale Saum, wie das auch Frank schon angiebt, den centralen Gewebscylinder schliesslich allein ab.

Am Grunde des Blattes[1]) wird der Gefässbündelsaum immer mehr und mehr eingezogen, um in dem kurzen Blattstiel vollständig zu schwinden. In diesem Blattstiel beginnt ausserdem eine Veränderung des Siebtheils, die sich beim Eintritt in den Stengel noch mehr ausprägt, nämlich das Auftreten in den Reihen der Siebröhren zunächst der mit Krystallen an der Innenwand besetzten Schläuche und hierauf auch von Parenchymzellen. Diese Elemente zeigen sich zunächst vereinzelt, dann treten sie in grösserer Zahl auf. Ist die Blattspur in den Bündelkreis des jungen Sprosses getreten, so hat sie auch die Structur der Nachbarbündel aufzuweisen und zeigt im Siebtheil die Abwechslung von krystallführenden Sklerenchym-Ersatzfasern, von Parenchymzellen und von Siebröhren; welche Abwechslung übrigens, in den primären Gefässbündeltheilen, noch nicht eine solche Regelmässigkeit wie in dem späteren Zuwachs aufweist. — Der Gefässtheil der Bündel zeigt sich nach seinem Eintritt in die Rinde des Tragsprosses, und eine Strecke weit abwärts noch innerhalb des Gefässbündelkreises, von gestreckten Schraubentracheïden und grob schraubenförmig bis netzfaserig verdickten Tracheïden gebildet. Diese letztere Verdickungsart weicht von der für die späteren Tracheïden charakteristischen, durch dünne tertiäre Schraubenbänder ausgezeichneten, durchaus ab, denn sie wird durch eine schrauben- bis netzförmige Differenzirung der ganzen secundären Verdickungsschichten bedingt. Sie entspricht der Verdickung, wie wir sie in den Spuren der Kurztriebe, respective der Blätter, der zuvor untersuchten Coniferen gefunden haben, und ist für Streckung eingerichtet. Demgemäss zeigen sich auch hier nur die Verdickungsschichten verholzt, nicht die primären Wände der Tracheïden. — Die Blätter bleiben bei Taxus bis über 5 Jahre an den Zweigen; die Tracheïden der Blattspur werden aber während dieser Zeit in der Cambiumgegend der Tragachse ganz ebenso in Abständen durchrissen, wie wir das bei der Kiefer und der Fichte sahen. Ebenso findet Ergänzung der Blattspur durch Einschaltung

1) Vergl. hierzu auch Frank, l. c. p. 167.

neuer Elemente in der Cambiumgegend statt. Der Oberseite der Blattspur folgen auch hier in dem Holzkörper der Tragachse unverholzte, schwächer als die Tracheïden verdickte, gestreckt parenchymatische Elemente, welche dem Markantheil des Centralcylinders der Nadel entsprechen und sich bis in die Elemente der Markscheide des Tragsprosses verfolgen lassen. Auch hier bleiben diese Markzellen in der dem Cambium des Tragsprosses entsprechenden Zone theilungsfähig und vermehren so, durch Einschaltung neuer Querwände, die Zahl ihrer Elemente. Der Verlauf der Blattspur im Holzkörper der Tragachse ist ein nur wenig schräger; die Tracheïden der Tragachse biegen cambiumwärts aus, um in die Blattspur einzutreten. Ueber der Blattspur erfahren sie oft eine sehr starke Verbiegung, um derselben auszuweichen, öfters sogar eine knieförmige Knickung. In dem auf das Abwerfen der Nadel folgenden Jahr wird deren Blattspur in der Cambiumzone des Tragsprosses, wie schon Markfeld angiebt [1]), durchrissen.

Nicht uninteressant dürfte es endlich sein, noch zu erwähnen, dass auch die Bündel in den Cladodien von Phyllocladus, also eigentlich Stammbündel, den Functionen des Cladodiums gemäss, mit tracheïdalen Säumen versehen sind [2]). Es fehlen auch nicht die Uebergangszellen, die ich bei Phyllocladus trichomanoides in kräftiger Entwicklung an den Siebtheilrändern verfolgen konnte.

Um Vergleichungspunkte zu gewinnen, habe ich auch die Gefässbündel in den Fruchtschuppen der Kiefer, der Lärche, der Fichte und der Edeltanne untersucht. Als den Gefässbündeln aller dieser Schuppen gemeinschaftlich zukommend, stellte sich eine sehr bedeutende Reduction des Siebtheils im Verhältniss zu dem Gefässtheil heraus. Dieselbe markirte sich besonders auf älteren Entwicklungszuständen. Die Saumbildung am Gefäss- und Siebtheilrande zeigte sich ebenfalls reducirt, fehlte jedoch nie vollständig [3]). Alle diese Erscheinungen erklären sich hinlänglich aus der Reduction, welche Transpirations-

---

1) l. c. p. 86.

2) Vergl. Scheit, l. c. Sep.-Abdr. p. 15.

3) Dass die Tracheïdensäume den Knospen-Blättern und den Schuppen der Abietineen nicht fehlen, gab schon Scheit an, l. c. Sep.-Abdr., p. 12.

und Assimilationsvorgänge innerhalb der Fruchtschuppen erfahren. Namentlich letztere müssen auf ein sehr geringes Maass beschränkt werden. Daher eine im Verhältniss stärkere Entwicklung der Gefäss- als der Siebtheile.

Fassen wir das für Coniferen-Laubblätter Gesagte aber zusammen, so ergiebt sich etwa Folgendes. Der anatomische Bau des assimilatorischen Systems ist ein solcher, dass eine Abwärtsleitung in demselben vielfach ganz ausgeschlossen ist, die Producte der Assimilation somit nothgedrungen an das Grundgewebe des Centralcylinders, das die Gefässbündel umgiebt und bei den Abietineen von einer besonders differenzirten Endodermis umgeben ist, abgeliefert werden müssen. Dieses centrale Blattgewebe besteht in allen Fällen aus Elementen, die in ihrem Verlauf dem Gefässbündel folgen und dicht zusammenschliessen. Morphologisch entspricht dieses centrale Blattgewebe dem Centralcylinder des Stammes, und zwar dem Pericykel, dem Mark und den Markstrahlen desselben. Das stellt man fest, indem man die Blattspur innerhalb der Tragachse verfolgt. Das dem Pericykel derselben entsprechende, an der Siebtheilseite der Blattbündel befindliche Gewebe, geht in den Pericykel über; das dem Mark der Tragachse gleichwerthige Gewebe lässt sich an der Oberseite der Blattspur bis in die Markscheide verfolgen. Der an den Blattbündeln der Coniferen ausgebildete Saum aus tracheïdalen Elementen und Uebergangszellen vollzieht dieselben Functionen wie die letzten Bündelauszweigungen der Angiospermen-Blätter. Scheit [1]) hat bereits darauf hingewiesen, dass sich „alle möglichen Uebergänge von den Tracheïdensäumen des einfachen, unverzweigten Coniferenblattbündels zu denen der letzten Bündelausläufer in den Blättern der übrigen Gefässpflanzen finden". Hugo v. Mohl war andererseits geneigt, das „Transfusionsgewebe" dem Grundgewebe zuzurechnen [2]). Letzteres liegt in der That näher, wenn man ins Auge fasst, wie weit sich vielfach der tracheïdale Saum innerhalb der Grundgewebe des Centralcylinders ausbreitet, Gefässtheil oder Siebtheil der Bündel umfassend. Der Augenschein lehrt auch, dass der Saum aus Uebergangszellen den markstrahlähnlichen

1) l. c. Sep.-Abdr. p. 7.

2) Morphologische Betrachtung der Blätter von Sciadopitys, Bot. Ztg., 1871, Sp. 17.

parenchymatischen Gewebsplatten der Bündel entspricht, also demjenigen Theile derselben, der auch zum Grundgewebe gerechnet zu werden pflegt. Dass hier Grundgewebselemente dieselben Functionen wie in anderen Fällen Gefässbündel übernehmen, darf um so weniger wundern, als ja auch die Function der Geleitzellen bei so vielen Coniferen durch Markstrahlelemente ausgeübt wird. — Am Grunde der Coniferen-Blätter sehen wir die Gefässbündelsäume schwinden. Vielfach ist die Gewebsdifferenzirung am Grunde des Blattes eine solche, dass jede andere Möglichkeit als diejenige, dass der gesammte Stoffaustausch zwischen dem Blatte und der Tragachse durch Vermittlung des Grundgewebes des Centralcylinders und der Bündel vollzogen werde, ausgeschlossen erscheint. Das Grundgewebe des Centralcylinders und auch die, in die Gefässbündel markstrahlartig eingeschalteten, durch die ganze Blattlänge continuirlich verlaufenden Parenchymplatten, dienen der Abwärtsleitung der Kohlehydrate. Den markstrahlartigen Parenchymplatten in den Siebtheilen fällt ausserdem dieselbe Function wie sonst den Geleitzellen zu. Die Siebröhren sorgen für den Massentransport der Eiweisskörper nach abwärts, in den eiweisshaltigen Parenchymzellen bewegen sich diese Stoffe jedenfalls nur von Zelle zu Zelle. Von den Uebergangszellen lässt sich annehmen [1]), dass sie die in den assimilirenden Blattflächen erzeugten Eiweisskörper [2]) sammeln und in geeigneter Form den Siebröhren übermitteln. Andererseits dürften, wie wiederholt schon angenommen wurde, die tracheïdalen Säume das durch die Gefässtheile der Gefässbündel zugeführte Wasser an die Blattlamina vertheilen. Sie werden durch die oft im ganzen Grundgewebe des Centralcylinders vertheilten tracheïdalen Elemente in diesem Geschäfte unterstützt. Die Abschliessung der leitenden Gewebe durch eine scharf differenzirte Endodermis theilen die Abietineen-, besonders die Pinus-Nadeln, mit den primären leitenden Geweben der Wurzeln und auch vieler Stämme.

---

1) Was weiter noch bei den Angiospermen zu begründen sein wird.

2) deren Bildung in den assimilirenden Flächen, wie schon anderswo erörtert wurde, auf Grund Schimper'scher Untersuchungen (Bot. Ztg. 1888, Sp. 65 ff.) mehr als wahrscheinlich geworden.

Das Grundgewebe des Centralcylinders der Coniferen-Nadeln giebt Gerbstoffreactionen. Gewöhnlich sind die so reagirenden Zellen im ganzen Grundgewebe des Centralcylinders vertheilt, können aber auch, wie bei Taxus, vornehmlich auf die den Siebtheilen angrenzenden Gewebe beschränkt sein. Weniger gerbstoffreich erweisen sich die markstrahlartigen Parenchymplatten in den Gefässbündeln, so dass also in den Blättern wie im Stamme der Gerbstoff durch die nämlichen Bahnen wie die Kohlehydrate geführt wird, ohne nothwendiger Weise in allen diesen Bahnen in gleichem Maasse vertreten zu sein.

Der anatomische Bau der Blatt- wie der Kurztriebspur bei den Coniferen giebt mir Veranlassung, hier noch einige andere, zu den Leitungsbahnen des Pflanzenkörpers in Beziehung stehende Erörterungen anzuknüpfen. Wir haben gesehen, dass die Blattspuren der Fichte, der Eibe, wie der Araucaria, auf ihrer Oberseite von Markgewebe begleitet werden, an dieser Oberseite mit dem Siebtheil und den Tracheïden der Tragaxe somit nicht in directem Zusammenhange stehen. (Vergl. unsere Figur 39, Taf. II.) Dieser Zusammenhang ist nur an der Unterseite gegeben. Nur in der Richtung nach der Sprossbasis haben somit die Leitungsbahnen der Coniferen-Blätter directe Verbindung. Und ganz ebenso verhalten sich auch die Dicotylen. Am besten lässt sich dies dort wiederum an den Blattspuren mehrjähriger Blätter nachweisen. Jede Leitung scheitelwärts im Spross, von einem gegebenen Blatte aus, kann somit nur auf indirectem Wege erfolgen. Daraus erklärt sich wohl hinlänglich das Ergebniss der Hanstein'schen Versuche, welche zeigten, dass entblätterte Zweige verschiedener Gehölze, die von tiefer stehenden Blättern, auf ziemliche Entfernung, ernährt werden mussten, in ihrer Entwickelung stockten, und dass zunächst auch ihre Verdickung auf der entblätterten Strecke unterblieb [1]). Aehnlich wie die Blattspuren, zeigt auch der Gefässbündelcylinder der Kurztriebe der Coniferen directe Verbindung mit dem Muttespross nur in absteigender Richtung. Wir sehen alle Markstrahlen der oberen Hälfte eines solchen Gefässbündelcylinders in Bogen grundwärts ausbiegen, die Reihen der Siebtheil-Elemente, wie der Tracheïden, den nämlichen Bahnen

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. II, p. 427.

folgen und mit scharfer Umkrümmung schliesslich in die abwärts laufenden Elemente des Tragsprosses übergehen. Besonders prägnant war das Bild, welches der tangentiale Längsschnitt durch den Holzkörper des Tragsprosses, der den Kurztriebcylinder somit im Querschnitt zeigte, uns bot. Dieses Bild haben wir in unserer Figur 40, Taf. II wiedergegeben. Auf dieses Bild weisen wir hier noch einmal hin, weil es im Wesentlichen das nämliche ist, welches auch der Querschnitt eines jeden Astansatzes innerhalb der Tragachse bietet. Bei den für längere Zeiträume eingerichteten, dauernd in die Dicke wachsenden und Jahresringe bildenden Aesten kommen noch mannigfache, durch dieses Dickenwachsthum hervorgerufene Complicationen hinzu. Im Wesen bleibt sich aber die Sache gleich. Eine directe Fortsetzung der Elemente des Astes in diejenigen der Tragachse in der Richtung zum organischen Scheitel findet in keinem Falle statt, vielmehr nur dasselbe seitliche Ausbiegen und schliessliche scharfe Umkrümmen nach der organischen Basis. Das wiederholt sich in sämmtlichen Jahresringen, so alt der Ast auch werden mag. Alle Elemente des Astes stehen somit scheitelwärts nur in seitlicher Berührung mit denjenigen der Tragachse; nur grundwärts gehen sie in dieselben über. Damit hängt die Erfahrung des gemeinen Lebens zusammen, dass man einen Ast aus seiner Tragachse nur grundwärts herausbrechen kann, und dass dabei eine Wunde im Tragspross entsteht, die scheitelwärts gleichmässig gewölbt und fast glatt erscheint, grundwärts aber in eine unregelmässige, allmählich sich verjüngende Rinne übergeht. Nur in der Mediane der oberen Wölbung sieht man öfters einen schmalen Kamm vorspringen, der auf quer durchrissene Elemente des Holzkörpers hinweist. Es sind Elemente der Tragachse, die geradlinig auf die Mediane des Astes trafen und an demselben ansetzten, ohne in seitlich ausweichende Reihen überzugehen. Ein solcher Kamm ist, auch wo vorhanden, immer schmal und dann auch wohl in manchen Jahresringen unterbrochen. — Alle die eben über Astansatz gemachten Angaben gelten ebenso gut für Gymnospermen wie für dicotyle Gehölze. Sie haben grosses theoretisches Interesse, weil sie zeigen, dass auch die Ueberschüsse an Assimilaten, die ein Ast an seine Tragachse abliefert, einen directen Weg innerhalb derselben nur grundwärts einschlagen können.

Auf den eigenthümlichen Verlauf der „Fasern" in der „Anfügungsstelle des Astes an den Stamm" hat, soweit ich sehe, bis jetzt nur ein Forstmann, M. Kienitz, in den Supplementen zur Allgemeinen Forst- und Jagd-Zeitung hingewiesen [1]). Die Angaben und Abbildungen jenes Aufsatzes gingen dann in N. J. C. Müller's Handbuch der Allgemeinen Botanik [2]) über. Kienitz bemerkt bereits, dass die Elemente des tragenden Astes in den Zweig von unten nach oben eintreten. Die Fasern des Stammes weichen nach rechts und links und ausserdem radial aus, wenn sie einem Aste begegnen. Nebenbei, meint Kienitz, finde ein „Stauen der Ströme in den gebogenen Fasern, ähnlich wie an der Uebergangsstelle des Stammes in die Wurzel" statt und scheine „die Holzbildung zu begünstigen", so dass sich durch diese Vorgänge die bei einigen Baumarten so auffallenden Knorren (Knäste) bilden, die oft viele Centimeter weit (z. B. bei der Aspe) aus der Stammfläche hervorragen und einen dürren Aststumpf oder aber ein durch Ausfallen desselben entstandenes Loch umschliessen" [3]).

Wir haben gesehen, in welcher Weise in den Kurztriebspuren von Pinus die centralen Tracheïden gedehnt, peripherische in der Cambiumzone des Muttersprosses eingeschaltet werden, um es zu ermöglichen, dass das Längenwachsthum der Spur annähernd gleichen Schritt mit dem Dickenwachsthum des Tragsprosses halte. Durch diese Einrichtung werden stärkere Spannungen zwischen Kurztriebspur und Tragachse ausgeschlossen. Aehnliche Ausgleichungen sind auch für jüngste Anlagen solcher Aeste, die ein dauerndes Wachsthum behalten sollen, möglich. Weiterhin aber, nachdem der Ast an Dicke zugenommen und einen der Tragachse ganz entsprechenden Holzkörper gebildet hat, findet eine Dehnung desselben nicht mehr statt, hingegen müssen Spannungen, Compressionen und Verschiebungen der Basttheile Folge des andauernden Wachsthums sein. Diese Erscheinungen wären noch weiter zu untersuchen. Auf die Faltungen der Rinde, welche als Folge solcher Wachsthumsvorgänge

---

1) Ueber die Aufastung der Waldbäume, Supplemente zur Allgemeinen Forst- und Jagd-Zeitung, herausgegeben von Prof. Dr. Gustav Heyer, Bd. X, 1878, p. 61.

2) I. Theil, p. 144.

3) l. c. p. 63.

auftreten und welche für die einzelnen Baumarten charakteristisch sind, hat bereits N. J. C. Müller hingewiesen [1]).

Entsprechend dem Anschluss der Aeste am Stamme verhält sich, bei den in die Dicke wachsenden Wurzeln, der Anschluss einer Tochterwurzel an ihre Mutterwurzel. Bricht man eine solche Wurzel aus, so erhält man eine gewölbte, annähernd glatte Bruchfläche nach dem Scheitel der Tragwurzel zu, reisst einen Span in Richtung der Wurzelbasis aus. Auch die Ansatzstelle einer solchen Seitenwurzel zeigt bei mikroskopischer Untersuchung die bogenförmige Umkrümmung aller radialen Reihen in der scheitelwärts orientirten Hälfte des Querschnitts. Alle diese Reihen richten sich nach der Wurzelbasis zu und setzen sich mit mehr oder weniger scharfer Biegung in die grundwärts laufenden Reihen der Elemente der Tragwurzel fort.

Auch in den primären Gefässbündeltheilen des Centralcylinders der Coniferen-Wurzeln sind die Geleitzellen nicht Schwesterzellen der Siebröhren. Hat man aber die als Geleitzellen fungirenden Parenchymzellen in den Gefässbündeln der Blätter, der jüngsten Triebe und des secundären Zuwachses vom Stamme und Wurzel erkannt, so ist es nicht schwer, sie auch in den primären Siebtheilen der Wurzel wiederzufinden. Es wird ein Beispiel genügen, um die hier gegebenen Verhältnisse zu beleuchten, da dieselben in übereinstimmender Weise bei allen Coniferen, ja, soweit ich sehen kann, bei allen Gymnospermen wiederkehren.

Querschnitte, die in etwa 1 cm Entfernung vom Vegetationspunkte durch Seitenwurzeln von Taxus baccata geführt werden, scheinen mir besonders geeignet für diese Untersuchung. Der elliptische Centralcylinder wird in Richtung seines grössten Durchmessers durchsetzt von einer Tracheïdenplatte, die in ihrer Mitte aus einer einfachen bis doppelten Reihe behöft getüpfelter, weitlumigerer Tracheïden besteht, an ihren Kanten in englumige Schraubentracheïden ausläuft. Den beiden Seiten dieser Platte liegt eine meist nur zweischichtige Lage longitudinal gestreckter Parenchymzellen an, die wir als Markzellen bezeichnen können. In starken Wurzeln kann dieses Mark auch

1) Botanische Untersuchungen, Heft VI, Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Baumkrone, 1877, p. 511.

etwas grössere Mächtigkeit erlangen. Dann folgt je ein Gewebsstreif, der nur ein bis zwei Zellen stark ist und aus Siebröhren und Parenchymzellen besteht. Die Elemente dieses Streifs sind meist etwas weitlumiger als diejenigen des Markgewebes. Die als Geleitzellen fungirenden eiweisshaltigen Parenchymzellen stehen den Siebröhren an Zahl nach, sind oft auch wohl enger als diese. Im Querschnitt lassen sie sich nur dann leicht unterscheiden, wenn ihr Zellkern getroffen wurde. An ihren Zellkernen erkennt man sie leicht im Längsschnitt. Auch stehen sie an Länge den Siebröhren bedeutend nach. Letztere tragen ihre Siebplatten nur an den terminalen, kaum geneigten Querwänden. Diese Siebplatten werden im älteren Zustande auch mit einer Callusplatte bedeckt. An die beiden Siebtheile schliesst der Pericykel an, der das ganze Gefässbündelsystem umschliesst, vor den Siebtheilen mehrschichtig, vor den Kanten der Tracheïdenplatte hingegen nur einschichtig sich zeigt[1]). Das Pericykelgewebe ist stärkehaltig oder kann es sein; die vor den Kanten der Tracheïdenplatte gelegenen Zellen zeichnen sich ausserdem durch ihren Plasmareichthum aus. Vor den Siebtheilen führt das mehrschichtige, stärkehaltige Pericykelgewebe schlauchförmige Elemente, die späterhin, wenn die primären Siebtheile ausser Function gesetzt sind, sich mit Stärke füllen. Denselben Gebilden waren wir vor den primären Siebtheilen im Stamme begegnet. Das mehrschichtige Pericykelgewebe vor den Siebtheilen weist auch kleine Intercellularen auf. Eine einschichtige Endodermis, von der innersten Rindenschicht gebildet, umgiebt den ganzen Centralcylinder und wird von der nächstfolgenden Rindenschicht gestützt, deren Zellen durch die oft beschriebenen, dicken, stark lichtbrechenden Verdickungsringe ausgezeichnet sind. Vor den Kanten der Tracheïdenplatte sind auch die Endodermiszellen plasmareicher. — Wie aus Van Tieghem's Arbeiten[2]) besonders bekannt, ist es, falls nur zwei Zellschichten die centrale Tracheïdenplatte von dem Siebtheile trennen, die äussere der beiden, die sich tangential zu theilen beginnt und den Cambiumstreifen bildet. Auch

---

1) In dem schematischen Bilde von Van Tieghem, Ann. de sc. nat. Bot., V. sér., T. XIII, Taf, 3, Fig. 3, ist auch vor den Siebtheilen der Pericykel nur einschichtig, was mir niemals vorgekommen ist.

2) l. c. p. 191.

in Taxus-Wurzeln mit stärker entwickeltem Markgewebe fand ich stets, dass es die dem Siebtheil anliegende Markschicht ist, welche in diese Thätigkeit eintritt. In schwächeren Taxus-Wurzeln ist die Markschicht, welche die Tracheïdenplatte von den Siebtheilen trennt, nicht überall doppelt, und so kommt es dann, dass nach Anlage der Cambiuminitialschicht nur eine unvollständige Parenchymplatte als Mark zurückbleibt. Soweit die trennenden Markzellen fehlen, berühren sich secundäre und primäre Tracheïden unmittelbar. Für den directen Zusammenhang zwischen den secundären und primären Leitungsbahnen muss aber in allen Fällen gesorgt sein. An der zurückgebliebenen Markschicht setzen die Enden der Markstrahlen an. Sobald durch die Thätigkeit des Cambiums neue Elemente des Siebtheils angelegt werden, beginnt die Obliteration der primären. Jetzt constatirt man auch leicht, dass die secundären Siebtheile direct an die zerdrückten Elemente der primären stossen. Es dauert bei Taxus geraume Zeit, bis dass die secundäre Holz- und Bastzone der Wurzel vor den Kanten der primären Tracheïdenplatte zusammenschliesst. Dieses Verhalten bietet jedenfalls den Vortheil, dass der Pericykel für die etwaige Anlage nachträglicher Seitenwurzeln an jenen Stellen möglichst lange frei bleibt. — Währenddem tritt die äusserste Schicht des Pericykelgewebes, und zwar zunächst vor den Siebtheilen, in Theilung ein, um ein Korkcambium zu erzeugen. Auch dieses Korkcambium schliesst erst nachträglich vor den Kanten der primären Tracheïdenplatte zusammen, und zwar erst, nachdem mehrere Lagen von Korkzellen vor den Siebtheilen gebildet worden sind. Die Vorgänge, die zur Anlage des Korkcambiums führen, werden aber vor den Kanten der Tracheïdenplatte durch Theilungsschritte eingeleitet, welche die einfache Pericykelschicht dort zunächst verdoppeln. Nur die äussere der beiden Zelllagen differenzirt sich hierauf als Phellogen. Durch die Thätigkeit des Korkcambiums wird die Endodermis rasch flachgedrückt, so dass der Kork weiterhin direct an die mit den dicken Ringen versehene Verstärkungsschicht anzuschliessen scheint. Entsprechend dem Umstande, dass die Korkbildung vor den Kanten der Tracheïdenplatte später erfolgt, bleibt die Endodermis an jenen Stellen am längsten unverändert und so, wie die anschliessende Pericykelschicht, bis zuletzt durch ihren Plasmareichthum ausgezeichnet. Zuletzt umgiebt eine ge-

schlossene Peridermschicht den gesammten Centralcylinder; die ganze Endodermis erscheint flachgedrückt, die Rinde stirbt ab und wird abgeworfen. — Erst nachdem die beiden, zu den Seiten der primären Tracheïdenplatte gelegenen, secundären Holzkörper in ihrer Mitte aus 4 bis 5 radial auf einander folgenden Tracheïden bestehen, was unter Umständen im zweiten Jahre der Fall ist, schliessen die beiden Cambiumstreifen vor den Kanten des primären Gefässtheils zusammen. Die innerste Schicht des auch dort vermehrten Pericykelgewebes ist es, die in die Cambiumthätigkeit eintritt. Während somit ein Theil des Cambiums, das den secundären Zuwachs der Wurzel liefern soll, seinen Ursprung der äussersten Markschicht verdankt, geht der fehlende Theil vor den Kanten der primären Tracheïdenplatte aus dem Pericykel hervor. Dass die Pericykel- und Markgewebe in ihrer Function sehr nahe verwandt sind, darauf haben wir zuvor schon hingewiesen und sehen es durch dieses Verhalten auch von neuem bestätigt. So wie hier wird aber, wie Van Tieghem schon hervorgehoben, auch in allen anderen mit secundärem Dickenwachsthum versehenen Wurzeln der Gymnospermen und Dicotylen der Cambiumring ergänzt. — Je ein breiter Markstrahl kommt in die Verlängerung der beiden Kanten der primären Tracheïdenplatte zu stehen; in diesen Markstrahl werden aber weiterhin, nachdem er eine bestimmte Breite überschritten, Holzstränge eingeschaltet, so dass schliesslich die auf die primären Tracheïden führenden Markstrahlen nicht mehr auf den ersten Blick zu erkennen sind. — In dem secundären Siebtheile werden alsbald die mit Krystallen an ihrer Innenwand besetzten Sklerenchym-Ersatzfasern eingeschaltet. Dann folgen auch stärkeführende Parenchymzellen, mit eiweissführenden untermischt, womit der secundäre Bast seine typische Zusammensetzung erlangt. Die Elemente des Pericykels fahren zugleich fort, sich durch Theilung zu vermehren, und bringen ein stärkereiches, von Intercellularen durchsetztes Gewebe hervor, welches, seiner Lage ausserhalb der primären Siebtheile nach, an eine primäre Rinde erinnert und auch eine solche hier vertritt, allein seiner Entstehung nach zum Centralcylinder gehört und somit im besten Falle nur zur secundären Rinde gezogen werden könnte. Thatsächlich ist es ein Gewebe sui generis, das hier die Längsleitung der Kohlehydrate zu besorgen hat, so lange als stärkeführendes Bastparenchym innerhalb des

secundären Bastes nicht in hinreichender Menge vertreten ist. Das Korkcambium bildet hier kein Phelloderm. Das stärkeführende Pericykelgewebe wird, sobald für den Ersatz im secundären Bast gesorgt ist, gedehnt und nicht mehr ergänzt, weiterhin durch Peridermbildung im secundären Baste vom Innern des Centralcylinders abgeschnitten und schliesslich abgeworfen.

Die eigenartige Vertheilung der primären Gefässbündeltheile im Centralcylinder der Wurzel bietet den Vortheil, dass durch dieselbe die Tracheïden möglichst frei gestellt und nach aussen gerückt werden, und so die für die Wasseraufnahme aus der Rinde und für den Gefässbündelanschluss neuer, im Pericykel entstehender Wurzeln beste Lage besitzen. Die Art, wie der secundäre Zuwachs eingeleitet und fortgeführt wird, bringt es mit sich, dass dieser Vortheil möglichst lange ausgenutzt werden kann.

Gnetaceen.

Diejenigen Gnetaceen, die ich eingehender untersucht habe, nämlich Ephedra und Gnetum, stehen in manchen Einzelheiten ihres anatomischen Baues den Angiospermen näher als die Coniferen, haben jedoch noch nicht an ihren Siebröhren Geleitzellen aufzuweisen.

Von Ephedra fragilis Desf. verfügte ich über geeignetes Material, das bis zu 9 mm starke, ca. 15-jährige Stammtheile enthielt.

Der Holzkörper wird, abgesehen von den Schraubentracheïden und den Uebergangsgebilden im primären Gefässtheil, von behöft getüpfelten Elementen, von Holzparenchym und den Markstrahlen gebildet. Die behöft getüpfelten Elemente sind, im Gegensatz zu den Coniferen, nicht allein durch Tracheïden, sondern auch durch Gefässe vertreten. Letztere bildeten den Gegenstand einer besonderen Abhandlung bereits bei H. v. Mohl[1]). Sie zeichnen sich schon im Querschnitt durch ihr weiteres Lumen aus; besitzen ausserdem perforirte Terminalwände.

1) Ueber den Bau der grossen getüpfelten Röhren von Ephedra, Linnaea 1831, und Vermischte Schriften, p. 268.

Diese Wände sind tangential stark geneigt und von einer Reihe, auch wohl von zwei Reihen runder Löcher durchbohrt [1]). Die Löcher erscheinen schwach behöft, sie entsprechen grossen Hoftüpfeln, deren Schliesshaut resorbirt worden. An vereinzelten Terminalwänden wird man einzelne, oder selbst alle Schliesshäute erhalten finden. Im Frühlingsholz sind die Gefässe weiter und zahlreicher, im Herbstholz eng und nur noch spärlich vertreten. Durch Ausbildung der Gefässe verliert die Anordnung der Elemente im Holz diejenige Regelmässigkeit, die sie bei Coniferen besass. Die Gefässe tragen ihre Hoftüpfel gleichmässig nach allen Seiten, doch auch an den Tracheïden sind die Hoftüpfel nicht auf die radialen Wände beschränkt. Man sieht sie vielmehr sowohl in diagonaler als auch tangentialer Stellung. Zwischen die tracheïdalen Elemente sind in ziemlicher Menge Zellfäden von Holzparenchym eingestreut. Sie laufen vereinzelt, oder sind zu Gruppen oder auch zu einem mehr oder weniger breiten tangentialen Bande vereinigt. Diese Holzparenchymzellen zeigen sich ebenso stark verdickt und verholzt, wie die Tracheïden, so dass man sie im Querschnitt nur an ihrem Inhalt erkennt. Bei genauerer Untersuchung stellt man auch fest, dass sie durch einseitig behöfte Tüpfel mit den tracheïdalen Elementen communiciren. Diese Holzparenchymzellen erreichen bedeutende Länge; die Cambiumzelle, die ihnen den Ursprung giebt, erfährt nur wenige Theilungen; ihre mit einfachen Tüpfeln durchsetzten Querwände sind zum Theil tangential geneigt. In manchen dieser Zellen sucht man überhaupt nach eingeschalteten Querwänden vergeblich und hätte sie dann eigentlich als Holzfasern zu bezeichnen. Alle die holzparenchymatischen Elemente hängen unter einander durch Vermittlung der Markstrahlen zusammen. Letztere sind fast durchweg mehrschichtig und von nicht unbedeutender Höhe. Die Markstrahlzellen selbst besitzen wenig regelmässige Gestalt. In den mehrschichtigen Markstrahlen sind die inneren Zellen breiter, an den Ecken abgerundet, vorwiegend radial gestreckt, während die Aussenzellen schmäler und longitudinal gestreckt erscheinen. Diese schmäleren, äusseren Zellen sind es, die vermöge ihrer Lage den Anschluss an das umgebende Gewebe

---

1) Vergl. die Abbildungen 11 und 12 bei H. v. Mohl, Vermischte Schriften, Taf. XI.

vermitteln. Im Uebrigen führen alle Markstrahlzellen denselben lebendigen Inhalt und bilden zwischen sich Intercellularen, die im Innern des Markstrahls zu grösster Weite anwachsen. Die Zahl der Markstrahlen von Ephedra ist bei weitem nicht so gross, als dass alle Gefässe und Tracheïden mit denselben in Berührung treten könnten. Es greift hier in dessen Thätigkeit aber auch das Holzparenchym ein.

Der Siebtheil von Ephedra fragilis ruft im Querschnitt einen ähnlichen Eindruck wie derjenige einer Araucaria hervor. Er besteht aus radialen Reihen gleich aussehender Elemente, die jenseits der thätigen Siebröhrenzone zerdrückt werden, mit Ausnahme derjenigen, relativ wenigen Zellen, welche Stärke führen oder starke Wandverdickung erhalten sollen. Der secundäre Bast besteht hier thatsächlich aus Siebröhren, aus eiweisshaltigen, als Geleitzellen fungirenden Bastparenchymzellen, aus ebensolchen stärkeführenden Bastparenchymzellen und aus relativ nur wenig zahlreichen Sklerenchymfasern. Die Siebröhren zeigen Siebtüpfel auch hier nur auf den radialen Wänden; nur eine relativ schwache Schicht derselben führt Callusplatten. Die eiweisshaltigen Bastparenchymzellen bilden entweder längere für sich fortlaufende Fäden, die nur hier und da von stärkeführenden Zellen unterbrochen sind, oder sie erscheinen in längere, stärkeführende Zellreihen eingeschaltet. In der ausser Thätigkeit gesetzten Siebröhrenzone sind die zuvor eiweisshaltigen Bastparenchymzellen entleert und an ihren eingebogenen Querwänden leicht kenntlich. Die Verdickung der wenigen Sklerenchymfasern beginnt erst jenseits der activen Siebröhrenzone. Eine mechanische Function kann diesen zerstreuten Sklerenchymfasern des secundären Zuwachses nicht zukommen, Calciumoxalat führen sie in diesem Falle auch nicht. Die Markstrahlen bestehen im Bastkörper von Ephedra, ebenso wie im Holzkörper, nur aus einer Art von Elementen, die aber weitlumiger als im Holzkörper sind, zugleich unverdickt und unverholzt bleiben. Auch einstöckige Markstrahlen werden im Bastkörper nicht entleert und sind somit nicht von den anderen Markstrahlen verschieden. In den Bastabschnitten der Markstrahlen von Ephedra wird Calciumoxalat aufgespeichert, und zwar in den Mittellamellen, in Form stäbchenförmiger Krystalle. Diese Calciumoxalat-Ablagerung pflegt in breiteren Markstrahlen gleich am Cambium, in einstöckigen erst in einiger Entfernung von

demselben zu beginnen. In den mehrschichtigen Markstrahlen werden in der Nähe des Cambiums zunächst die inneren Mittellamellen für die Kalkablagerung bevorzugt. Eventuell nehmen auch die Mittellamellen der an einen Markstrahl zunächst grenzenden Zellschicht Calciumoxalat auf. Durch Peridermbildung werden die älteren Basttheile abgeworfen.

Der Umstand, dass bei Ephedra die Blätter nur schuppenförmig entwickelt sind, und die Kohlenstoffassimilation durch die grüne Rinde junger Sprosse vollzogen wird, bringt es mit sich, dass diese Rinde einen laubblattähnlichen Aufbau zeigt. Namentlich auf radialen Längsschnitten wird diese Aehnlichkeit auffallend. Die in solcher Ansicht trichterförmig erscheinenden, senkrecht der Stengeloberfläche angesetzten, gegen einander isolirten Palissadenzellen neigen nach innen zusammen, um an eine zweite Schicht ähnlicher Palissadenzellen anzuschliessen, und letztere gehen ihrerseits in ein unregelmässiges, schwammparenchymatisches Gewebe über, dessen Elemente an die als Stärkescheide sich markirende, stärkehaltige innerste Rindenschicht ansetzen, die den Centralcylinder des Sprosses umgiebt. Im Querschnitt zeigen sich die assimilirenden Elemente seitlich verbunden; sie sind somit in über einander liegenden, gegen einander mehr oder weniger isolirten Stockwerken, in ähnlicher Weise vertheilt, wie wir es in Pinus-Blättern etwa fanden. Eigenthümlich sieht an Längsschnitten der Verlauf derjenigen Sklerenchymfasern, respective kleiner Sklerenchymfasergruppen, aus, welche die etagirten Partien der Rinde durchsetzen. Innerhalb der Stockwerke stehen nämlich diese Fasern mit den umgebenden Elementen in Zusammenhang, während sie die Räume zwischen den Stockwerken isolirt durchsetzen. Die freie Oberfläche der Sklerenchymfasern, noch mehr diejenige der Stärkescheide zeigt sich mit einer grösseren oder geringeren Anzahl kleiner Calciumoxalat-Krystalle bedeckt. Die Elemente der Stärkescheide, durch den grossen Stärkereichthum ihrer Chlorophyllkörner ausgezeichnet, sind longitudinal gestreckt und schliessen lückenlos zusammen. Sie können somit als Endodermis bezeichnet werden. — Durch grössere Resistenzfähigkeit zeichnen sie sich hingegen nicht aus. Stellenweise grenzt an die Stärkescheide nach aussen eine ähnliche Zellschicht, doch nicht in lückenlosem Verband und auch nicht durch Stärkereichthum ausgezeichnet. Das Gewebe des Pericykels besteht

vor den Gefässbündeln aus einer bis zwei Schichten von Sklerenchymfasern. Zwischen den Gefässbündeln geht aus der letzten, respective vorletzten Gewebsschicht des Centralcylinders, die somit sehr wohl noch zum Pericykel gerechnet werden könnte, das Interfascicularcambium hervor. Die Elemente des grosszelligen Markes verholzen alsbald; die den Gefässtheil der Bündel umfassenden sind lückenlos verbunden.

Die schuppenförmigen Blätter von Ephedra führen je zwei sehr schwache Gefässbündel. Namentlich erscheint der Siebtheil an diesen Gefässbündeln sehr reducirt. Dass der Gefässtheil dieser Bündel trotzdem mit einem relativ starken tracheïdalen Saum versehen ist, darauf hat bereits Scheit[1]) hingewiesen. Die Elemente dieses tracheïdalen Saumes sind bei Ephedra fragilis weitlumiger als die Tracheïden des Gefässtheils und netzfaserig verdickt. Der Saum aus Uebergangs-Geleitzellen an den Flanken der Siebtheile fehlt nicht vollständig, ist aber auf nur wenige Elemente beschränkt.

Von Gnetum Gnemon verfügte ich zunächst nur über relativ junge Aststücke, deren Dicke nicht über 1 cm hinausging. Das Material stammte zum Theil von Java, zum Theil von einem Exemplar aus dem Marburger botanischen Garten. Der Bau des Holzes stimmt im Wesentlichen mit demjenigen von Ephedra überein, ist aber an Längsschnitten leicht von letzterem zu unterscheiden, da die Querwände der Gefässe meist nur von einem einzigen Loche perforirt sind. Auch hatten die primären Markstrahlen der untersuchten Aststücke Steinzellen aufzuweisen. Im Uebrigen lagen Verhältnisse wie bei Ephedra vor: Hoftüpfel nach allen Seiten, Holzparenchym vornehmlich um die Gefässe. Das Holzparenchym zeigte sich etwas schwächer als die tracheïdalen Elemente verdickt; seine relativ dünnen Querwände waren auf Längsschnitten besonders leicht zu sehen. Die Wände der Markstrahlzellen waren im Holzkörper relativ stark verdickt, mit zahlreichen Tüpfeln versehen. Viele Tüpfel führten hier nach den Intercellularen, und boten die untersuchten Aststücke somit auch ein sehr günstiges Object für den Nachweis solcher Tüpfel. Auch der Siebtheil zeigte ganz ähnlichen Bau wie bei Ephedra: Siebröhren, Bastparenchym und

1) l. c. Sep.-Abdr. p. 18.

eingestreute Sklerenchymfasern. Das Bastparenchym hatte dieselbe Trennung in eiweisshaltiges und stärkeführendes Gewebe erfahren. Die Siebröhren boten Siebtüpfel nur auf den radial orientirten Wänden. Auch führten ganz entsprechend wie bei Ephedra deutliche Siebtüpfel von den Siebröhren nach den eiweisshaltigen Parenchymzellen. — Diese eiweissführenden Elemente werden auch hier weiterhin entleert und zerdrückt, bleiben aber an ihren gekrümmten, sich im Längsschnitt knotenförmig markirenden Querwänden kenntlich. Im Siebtheil sind die Markstrahlzellen nur schwach verdickt, daher auch die Tüpfelung nach den relativ weiten Intercellularen unterbleibt. Abweichend von Ephedra findet bei Gnetum eine Ablagerung von Calciumoxalat in die Mittellamellen der Markstrahlzellen nicht statt, vielmehr nehmen die Markstrahlzellen das Calciumoxalat in ihr Lumen auf. Das erfolgt sowohl im Holzkörper, als auch in der Bastzone. Auffallend ist es, dass diejenigen Markstrahlzellen, die hier Calciumoxalat-Krystalle führen, eben so reich an Stärke wie ihre Nachbarinnen sind. — Der Gefässbündelcylinder wird umgeben von einer zwei bis drei Zelllagen starken Gewebsschicht, die stärkehaltig ist und den Pericykel, sowie die denselben umschliessende innerste Rindenschicht repräsentirt. Dann folgt ein Ring aus stark verdickten, mehr oder weniger isodiametrischen, doch zum Theil auch sehr unregelmässig gestalteten Steinzellen. Das Gewebe des Pericykels ist gegen dasjenige der Rinde nicht abgesetzt und beide nur theoretisch zu trennen. Ebenso ist auch keine scharfe Grenze zwischen der als innerste Rindenschicht zu deutenden Gewebelage und den Steinzellen vorhanden. Der äussere Theil der primären Rinde wird von zahlreichen Sklerenchymfasern durchsetzt.

Diese Untersuchung der Gnetum-Aeste war abgeschlossen, als ich durch die Güte von Dr. Treub einen in Alcohol eingelegten Abschnitt eines 27 cm dicken Stammes von Gnetum Gnemon aus Buitenzorg erhielt. In ausserordentlich gefälliger Weise hatte Dr. Treub, um mir das gewünschte Untersuchungsmaterial senden zu können, einen kräftigen Baum in einem Dorfe auf Java angekauft, ihn fällen und einen in seiner Gegenwart abgesägten Abschnitt in Alcohol einlegen lassen. Der Stammabschnitt zeigt, wie schon erwähnt wurde, eine Dicke von 27 cm, davon gehen 7 mm für die Rinde ab. Der

Holzkörper ist von dicken, stark markirten Markstrahlen durchsetzt, die sich bis in die Rinde verfolgen lassen. Jahresringe sind weder makro- noch mikroskopisch zu erkennen, die Gefässe mit dem blossen Auge kaum zu unterscheiden. Die Oberfläche des Stammes nimmt eine glatte Korkschicht ein. Die mikroskopische Untersuchung dieses Stammabschnitts bestätigte im Wesentlichen die an den Aststücken gewonnenen Resultate. Nur fand ich Tracheïden und Holzparenchym wesentlich stärker als in den untersuchten Aesten verdickt, dadurch englumiger, und so den Gegensatz zwischen denselben und den Gefässen wesentlich gesteigert. Die Verdickung der Tracheïden und der Holzparenchymzellen fand ich hier annähernd gleich, doch waren letztere auch im Querschnitt, nach Jodbehandlung, durch ihren Stärkegehalt leicht kenntlich. Die Querwände innerhalb der Holzparenchymzellreihen fand ich ebenso schwach entwickelt wie in den Aststücken. Die aus den Holzparenchymzellen nach den Tracheïden führenden Tüpfel konnten breiter oder enger sein. Die engeren Tüpfel erweiterten sich an ihrer Basis, doch zeigte eingehendere Untersuchung, dass auch sie als nur einseitig behöft aufgefasst werden dürften. Die Markstrahlzellen fand ich gleichmässig, und zwar ziemlich stark verdickt, radial gestreckt. Der tangentiale Längsschnitt führte Markstrahlen sehr extremer Dimensionen vor. Einzelne Markstrahlzellen wiesen zwischen den Stärkekörnern einen grösseren Krystall von Calciumoxalat auf. Das Cambium befand sich, als das Stammstück eingelegt wurde, in voller Thätigkeit. Der Siebtheil zeigte ganz den nämlichen Bau wie in den untersuchten Aststücken: Siebröhren, Bastparenchym und Bastfasern. Letztere erhalten ihre Verdickung erst, nachdem die Siebröhren und eiweissleitenden Bastparenchymzellen entleert und zerdrückt worden. Die Zahl der stärkeführenden Bastparenchymzellen tritt sehr gegen diejenige der eiweissführenden zurück. Weiterhin, jenseits der activen Siebröhrenzone, vermehren sich aber die stärkeführenden Bastparenchymzellen und bilden mehr oder weniger regelmässig und mehr oder weniger stark entwickelte tangentiale, die Markstrahlen verbindende Bänder zwischen den Bastfasern. Stellenweise werden sie in stark verdickte Steinzellen verwandelt. Solche können auch unter Umständen in Markstrahlen auftreten. Innerhalb der meisten Steinzellen findet sich zugleich Calciumoxalat in grossen Krystallen vor. Die Markstrahlen werden im

Baste dünnwandiger, sie strotzen von Stärke, enthalten auch innerhalb vieler Zellen Krystalle von Calciumoxalat. Die starke Entwicklung der Markstrahlen erklärt es hinreichend, dass die stärkeführenden Bastparenchymzellen zunächst hier so spärlich vertreten sein dürfen. Die an der Stammoberfläche befindliche Korkschicht zeigte sich von sehr dünnwandigen Elementen gebildet. Das Korkcambium fährt fort auch Phelloderm zu bilden, das in der Peripherie chlorophyllhaltig ist. Dieses ganze Phelloderm war dicht mit Stärke angefüllt, in einiger Entfernung von der Oberfläche traten Steinzellen schichtenweise auf. Allem Anschein nach handelte es sich bei diesem 27 cm dicken Stamme noch immer um die primäre Korkbildung; die gesammte secundäre Rinde war noch vorhanden.

Wie bekannt, hält bei denjenigen Gnetum-Arten, die der Section Thoa angehören, die Thätigkeit des Cambiumringes nur eine bestimmte Zeit an, worauf im Pericykel ein neuer Cambiumring erzeugt wird. Das wiederholt sich in der Folge, so dass der ältere Stamm aus in einander steckenden Holzcylindern aufgebaut erscheint[1]). Entsprechendes Material lag mir zur Untersuchung nicht vor, und kann ich nur auf die Schilderung von Morot[2]) verweisen, welcher angiebt, dass das Pericykelgewebe bei Gnetum scandens und Gnetum Thoa sich zunächst durch tangentiale Theilungen in ein meristematisches Gewebe verwandelt, und in diesem alsdann ein Cambiumring sich differenzirt. Weiterhin soll aus den äusseren Theilen dieses secundären Verdickungsringes, dessen Elemente in dauernder Vermehrung begriffen sind, ein neuer Cambiumring sich aussondern, und so auch in der Folge. Morot rechnet zum Pericykel bei den von ihm untersuchten Gnetum-Arten nicht allein die zwei bis drei stärkeführenden Parenchymschichten, die an den Gefässbündelring stossen, sondern auch die hierauf folgenden Steinzellen. Ich kann mich dieser Auffassung nicht anschliessen, denn bei Uebergang der Gefässbündel in das Blatt wird es deutlich, dass die äussere Stärkelage dort der innersten Rindenschicht entspricht. Dazu stimmt die Angabe von Morot, dass nur die innere, dem Gefässbündelcylinder nächste Parenchym-

1) Vergl. die Abbildung bei de Bary, Vergl. Anat., p. 603.
2) Recherches sur le Péricycle, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XX, p. 274.

schicht es sei, die zur Bildung des secundären Meristems in Theilung eintritt.

Das Blatt von Gnetum ist ganz nach Art dicotyler Blätter ausgestaltet und zeigt auch einen zwischen dem gymnospermen und dem angiospermen Typus vermittelnden Bau. Innerhalb des Blattstiels von Gnetum Gnemon sind die Gefässbündel in einem nach oben offenen Bogen angeordnet. Zwischen den Ring- und Schraubentracheïden des inneren (oberen) Randes der Gefässtheile ist das Vasalparenchym unregelmässig vertheilt; weiterhin, zwischen den weitlumigen, getüpfelten Elementen, nimmt es radiale Anordnung an. Die radialen Parenchymreihen setzen sich in dem Siebtheil fort. Wie Längsschnitte lehren, laufen diese den Markstrahlen entsprechenden Parenchymplatten auch hier, wie in Coniferen-Blättern, continuirlich in dem Bündel fort. Im Gefässtheil führen sie mehr oder weniger Stärke, im Siebtheil eiweissartige Körper. Im Uebrigen führt der Siebtheil nur Siebröhren. So kommt es, dass in den Blattstielen älterer Blätter, in welchen die peripherischen Siebtheile ausser Function gesetzt wurden, der obliterirte Theil keinerlei lebendige Elemente zurückbehält. Die markstrahlartigen Parenchymplatten sind dort, ebenso wie die Siebröhren, flachgedrückt und entleert. Von aussen umfasst die Gefässbündel eine vorwiegend zweischichtige Zelllage, die an ihrem Stärkegehalt leicht kenntlich wird. Die innere Schicht dieser Zelllage ist meist kleinlumiger, oft unvollständig und dann nur auf die Aussenseite der Bündel beschränkt. Die weitlumigere äussere Schicht verläuft hingegen ohne Unterbrechung auch zwischen den Bündeln. Die innere Schicht ist als sehr reducirter Pericykel zu deuten, die äussere entspricht der innersten Rindenschicht, wobei auch hier wieder hervorgehoben werden muss, dass beide gegen einander in keiner Weise scharf abgesetzt sind. Ebenso grenzt sich die äussere Schicht nicht bestimmt gegen das übrige Mesophyll ab und zeigt bereits, wie jenes, kleine Intercellularen zwischen ihren Zellen. Lange Sklerenchymfasern sind im Mesophyll des Blattstiels vertheilt und auch vereinzelte, unregelmässig sternförmige Steinzellen. In älteren Blattstielen führt fast jede Grundgewebszelle eine Druse aus Calciumoxalat; im Wesentlichen fehlen diese Drusen nur den stärkehaltigen Zellen des Pericykels und der inneren Mesophyllschicht. — Die Blattlamina besitzt bekanntlich eine netzadrige Nervatur. Mit

Chloralhydrat durchsichtig gemachte Blattspreiten gestatten es, bereits festzustellen, dass die letzten Bündelzweige innerhalb der Maschen des Netzes vielfach blind endigen. Auch fällt es schon auf, dass diese letzten Auszweigungen aus schraubenförmig verdickten Elementen von relativ geringer Länge, doch nicht unbedeutender Breite, zum Theil wenig regelmässiger Gestalt bestehen. Gleichzeitig sieht man, dass das Mesophyll von Sklerenchymfasern durchsetzt ist, deren Verlauf sich von demjenigen der Nerven mehr oder weniger vollständig unabhängig zeigt. Diese Sklerenchymfasern verbinden und trennen sich wieder und bilden so ein eigenes Netzwerk im Blattgewebe. — Zarte Querschnitte lehren, dass die Gefässbündel sich mit fortschreitender Verzweigung allmählich erschöpfen, gleichmässig an Elementen des Gefäss- und Siebtheils verlierend. Innerhalb der feineren Auszweigungen erweitern sich die parenchymatischen Elemente des Siebtheils nicht unbedeutend und bilden denselben oft schliesslich allein. Feinste Auszweigungen, so auch die blind abschliessenden Enden, bestehen nur noch aus kurzen tracheïdalen Elementen; Vertreter des Siebtheils fehlen in denselben ganz. Die Bündel sind umscheidet von gestreckten Zellen, die in ihrer Gestalt sich immer mehr den angrenzenden Zellen des Blattgewebes nähern. In den feinsten Auszweigungen sind es nur noch die Fussstücke dieser Scheidenzellen, welche das Gefässbündel abschliessen; und andererseits kommt es jetzt auch vielfach vor, dass die schraubenförmig verdickten Elemente in diese Scheiden selbst eingreifen. So können schliesslich die tracheïdalen Elemente der letzten Bündelauszweigungen mit ihren Enden oder mit ihren Flanken direct an weite Intercellularen stossen. Ihre relativ starken Wände dürften sie immerhin vor einem directen Eindringen von Luft aus diesen Intercellularen schützen [1]). Der Vergleich lehrt, dass die schraubenförmig verdickten, tracheïdalen Parenchymelemente der feinsten Bündelauszweigungen von Gnetum dem tracheïdalen Saume der Coniferen entsprechen. Sie treten

---

1) Auch bei Angiospermen soll Aehnliches ausnahmsweise nach Haberlandt vorkommen, so sehr häufig bei den dickblättrigen Euphorbien (Euphorbia biglandulosa, Myrsinites), „wo die in das Durchlüftungssystem des Blattes hineinragenden Tracheïden oft blasig oder kugelig erweiterte Enden besitzen“) Phys. Pflanzenanatomie, p. 240.

bereits in feineren Bündelzweigen zu den Seiten gestreckter Gefässbündeltracheïden auf, um die feinsten Auszweigungen schliesslich allein zu bilden [1]). Ebenso entsprechen die weitlumigen plasmareichen Parenchymzellen, in welche der Siebtheil der feineren Auszweigungen ausläuft, den Uebergangszellen der Coniferen und sind in diesem Sinne auch Grundgewebselemente. Thatsächlich lassen sich hier an den feinsten Gefässbündelauszweigungen die Grenzen der Gewebe nur noch theoretisch festhalten. Entschliesst man sich die Scheidenzellen trotz ihrer mesophyllartigen Ausbildung mit zum Centralcylinder zu rechnen, so wäre freilich auch hier die Grenze beider Systeme gewahrt. Für eine solche Deutung der Scheidenzellen liesse sich der Umstand anführen, dass die tracheïdalen Elemente des Saumes, die dem Grundgewebe des Centralcylinders angehören, in dieselben eingeschaltet werden können. In der Ausbildung von, dem Gefässbündelsaum der Coniferen entsprechender Elemente an ihren letzten Bündelauszweigungen, schliessen somit die Gnetum-Arten an die Coniferen an, während sie in der Art der Vertheilung ihrer Gefässbündel innerhalb der Lamina den dicotylen Pflanzen sich nähern. — Die Sklerenchymfasern bilden, wie wir schon gesehen haben, in der Lamina von Gnetum ein von dem Gefässbündel gesondertes Netz, oder vielmehr zwei solche Netze, von denen das eine sich an das Palissadenparenchym der Blattoberseite, das andere an das Schwammparenchym der Blattunterseite hält. Vielfache Kreuzungen der Fasern sind in beiden Systemen zu beobachten; ausnahmsweise ist auch eine Sklerenchymfaser verzweigt. — Das Schwammparenchym ist ziemlich reich an kleinen Calciumoxalat-Krystallen, vornehmlich in der Nähe der Bündel.

So weit ich Welwitschia mirabilis untersuchen konnte, habe ich Grund, anzunehmen, dass auch diese merkwürdige Pflanze in den Gefässbündeln keine anderen Elemente als die übrigen Gnetaceen führt. Die Blattbündel stimmen im Bau mit denjenigen von Gnetum überein, nur dass die Elemente des Siebtheils englumiger und auch, wie schon de Bary hervor-

---

1) Vergl. auch die bereits von Scheit gemachten Angaben, in „Die Tracheïdensäume der Blattbündel der Coniferen etc." Jen. Zeitschr. f. Naturwiss., Bd. XVI, N. F. Bd. IX, 1883, Sep.-Abdr. p. 18.

hebt [1]), stark gequollen erscheinen. Die parallelen, longitudinal das Blatt durchziehenden Gefässbündel sind an der Gefäss- und Siebtheilseite von einem starken Sklerenchymfaserstrange gestützt. Es umfasst sie ausserdem, wie auch schon aus der de Bary'schen Beschreibung und Abbildung [2]) hervorgeht, eine Schicht netzfaseriger und behöft getüpfelter Saumtracheïden. Diese viereckig - prismatischen tracheïdalen Elemente bilden um das Gefässbündel ein unregelmässig durchbrochenes Netzwerk und stehen mit den Rändern des Gefässtheils in directer Verbindung. Sie anastomosiren auch mit den Querästchen, welche die Längsbündel leiterförmig verbinden [1]). Allem Anschein nach fehlt auch an den Rändern des Siebtheils der Blattbündel der Saum aus Uebergangszellen nicht und durchsetzt den Tracheïdensaum, doch war das aufgeweichte Material, über das ich allein verfügte, zur definitiven Entscheidung dieser Frage nicht ausreichend. Von der Rachis männlicher und weiblicher Inflorescenzen stand mir hingegen Alcohol-Material zur Verfügung. So konnte ich das eben über die Zusammensetzung der Blattbündel Gesagte an diesem controliren. Blattbündel und Rachisbündel stimmen in ihrem Bau überein; während aber in den Längsbündeln des Blattes der Gefässtheil über den Siebtheil dominirt, ist in den Gefässbündeln der Rachis der Siebtheil wesentlich stärker als der Gefässtheil entwickelt. Um diese Bündel der Rachis fehlt auch der tracheïdale Saum, und sind Sklerenchymfasern meist nur in geringen Mengen an der Siebtheilseite vertreten. — Aus Bertrand's Angaben [3]) scheint hervorzugehen, dass die Stammbündel von Welwitschia nicht anders als die Blatt- und Rachis-Bündel gebaut sein dürften.

Cycadeen.

Der Bau der Gefässbündel bei den Cycadeen lässt sich an denjenigen der übrigen Gymnospermen anknüpfen, zeigt doch aber nicht unbedeutende Abweichungen. Als Hauptobject der

1) Vergl. Anat., p. 347.

2) Fig. 157, p. 348.

3) Anatomie comparée des tiges et des feuilles chez les Gnétacées et les Conifères, Ann. d. sc. nat., Bot., V. sér., T. XX, 1874, p. 8.

Untersuchung diente mir ein im oberen Theile im Absterben begriffener, doch im unteren Theile noch gesunder, 20 cm dicker Stamm von Cycas circinalis. Das 7,5 cm weite Mark dieses Stammes zeigte sich von zwei fertigen und von einem noch in der Entwicklung begriffenen Gefässbündelringe umgeben[1]). Die Gefässtheile der beiden inneren, fertigen Kreise zeichneten sich durch rothbraune Färbung aus, veranlasst durch entsprechend tingirte Gummimassen, die zahlreiche Markstrahlzellen und zum Theil auch Tracheïden erfüllten. Die Siebtheile traten dann gleichzeitig mit weisser Farbe hervor. Den beiden inneren Bündelringen kam ein Durchmesser von je 1 cm zu; der dritte äusserste Kreis hatte diesen Durchmesser noch nicht erreicht. Die drei Kreise folgten unmittelbar auf einander, sich gegenseitig fast berührend. Wie der Analogie nach anzunehmen war und durch die Untersuchungen von Costantin und Morot[2]) festgestellt ist, entstehen die Zuwachsringe von Cycas im Pericykel. Die Beobachtungen von Costantin und Morot wurden an Cycas siamensis angestellt. Sie fanden, dass die innerste Rindenschicht auch in jungen Stämmen gegen das übrige Rindengewebe nicht abgesetzt ist, dass aber die äussere Grenze des Pericykels sich deutlich unterscheiden lässt. Das Pericykel soll dort aus fünf bis acht Schichten eines homogenen Parenchyms, ausserdem etwa drei bis vier Zellschichten, von welchen mindestens die äusseren collenchymatisch verdickt sind, bestehen. Die inneren parenchymatischen Schichten werden in einiger Entfernung vom Scheitel vermehrt, die collenchymatischen reducirt, weiterhin ganz zerdrückt, membranartig gedehnt, fragmentirt und schliesslich unkenntlich gemacht. Der zweite Zuwachsring nimmt hierauf seinen Ursprung in der parenchymatischen Zone des Pericykels. Derselbe Ursprung ist auch für die späteren Zuwachsringe anzunehmen, wenn auch mit dem Alter, so in dem von uns untersuchten Stamme, die äussere Grenze des Pericykels unkenntlich wird. Die Anlage der secundären Zuwachsringe von Cycas ist

---

1) Cycas und Encephalartos bilden bekanntlich auf einander folgende Gefässbündelringe von begrenztem Wachsthum, während bei Zamia, Dioon und Stangeria der erste Bündelring unbegrenzt fortwächst; de Bary, Vergl. Anat., p. 629.

2) Bulletin de la société botanique de France, T. XXXII, 1885, p. 173.

somit von derjenigen bei Gnetum, Section Thoa, nicht verschieden. — Das grosszellige, dünnwandige Mark des von uns untersuchten Stammes, zeigte sich in den gesunden Partien noch dicht mit Stärke erfüllt. Die Gefässbündel innerhalb der einzelnen Zuwachsringe waren durch mehr oder weniger breite Grundgewebsstreifen von einander getrennt. Das ausserhalb des äusseren Bündelringes befindliche Gewebe hatte, bis zur Peripherie, noch einen Durchmesser von 4,5 cm aufzuweisen. — Jedes Gefässbündel zeigt sich aus keilförmigen Holzsträngen zusammengesetzt, die, meist nur mit einer Tracheïdenreihe anhebend, bis zu einer Breite von drei bis vier Tracheïdenreihen anwachsen, um dann jedenfalls, wenn nicht schon früher, durch eingeschaltete Markstrahlen weiter gespalten zu werden. Jedes Gefässbündel wird somit durch Markstrahlen in eine grosse Zahl radial verlaufender Stränge zerlegt, und der seitlich zwei angrenzende Gefässbündel trennende Markstrahl zeichnet sich nur durch grössere Breite von den in das Bündel selbst eingeschalteten aus. — Die Holzstränge beginnen mit relativ englumigen Tracheïden, die fast bis zuletzt, das heisst bis zum Erlöschen der Cambiumthätigkeit in dem betreffenden Bündelkreise, an Weite zunehmen. — Diese Tracheïden haben bedeutende Länge, sie communiciren unter einander durch die zahlreichen, dicht gedrängten Hoftüpfel ihrer Radialwände mit den Markstrahlzellen durch einseitig behöfte Tüpfel. An den engsten, innersten, weniger regelmässig gestalteten Tracheïden sind die Tüpfel nach allen Seiten hin entwickelt. An dem Innenrande des innersten Bündelringes finden wir die Tracheïden schrauben- und treppenförmig verdickt. In den grösseren, regelmässig gestalteten, vier- bis sechseckigen Tracheïden sind tangentiale Hoftüpfel nur ausnahmsweise anzutreffen. — Die Tracheïdenreihen setzen sich durch Vermittelung von ein oder zwei nicht differenzirten Elementen des ausser Thätigkeit getretenen Cambiums in die Zellreihen des Siebtheils fort. Je nach der Breite des Tracheïdenstranges sind diese Zellreihen somit auch ein- bis vierreihig, doch sieht man nicht selten auch eine weitere Vermehrung der Reihen in den einzelnen Strängen des Siebtheils durch Einschaltung radialer Wände erfolgen. Diese Siebtheilstränge bestehen aus tangentialen Bändern von Siebröhren, Bastparenchym und zum Theil auch von Bastfasern. Die Abwechselung ist stellenweise regelmässig, oft auch ganz unregelmässig, und

greifen die einzelnen Elemente vielfach in die Reihen der anderen ein. Die langen Siebröhren tragen auf ihren radialen Wänden, mit welchen sie einander berühren, zahlreiche, etwas quergestreckte Siebtüpfel; besonders zahlreich sind diese Siebtüpfel auf den radial geneigten Endflächen. Tangential orientirte Siebtüpfel habe ich nicht beobachten können. Das Bastparenchym besteht aus stärkeführenden und aus stärkefreien Zellen. Letztere sind plasmareich und üben augenscheinlich auch hier die Function von Geleitzellen aus. Diese eiweisshaltigen Elemente sind entweder den Längsreihen von stärkeführenden eingeschaltet oder bilden auch mehr oder weniger fortlaufende Tangentialbänder für sich, in welche dann wiederum stellenweise stärkeführende Zellen eingreifen. Siebröhren wie eiweisshaltige Zellen fand ich aber nur in dem äusseren Gefässbündelringe noch in Thätigkeit, innerhalb der beiden inneren Ringe waren dieselben entleert und stellenweise collabirt. Die entleerten eiweisshaltigen Zellen zeigten wiederum die charakteristische Faltung der Querwände. Unsere Fig. 41, Taf. II, führt eine kleine Partie aus dem radialen Längsschnitt durch den Siebtheil des innersten Gefässbündelringes vor. Das Bild zeigt die sämmtlichen im Bast vertretenen Elemente, und zwar von links nach rechts fortschreitend: das Stück einer Bastfaser; dann eine stärkeführende Bastparenchymzelle; hierauf eine entleerte Bastparenchymzelle, die eiweisshaltig war; ein Stück aus einer Siebröhre, und endlich wieder eine an diese anstossende, stärkeführende Bastparenchymzelle. — Einzelne Bastparenchymzellen führen auch statt Stärke eine grosse Druse von Calciumoxalat. — Die Stränge des Siebtheils laufen an ihrem Aussenrande, ähnlich wie dies die Gefässtheilstränge am Innenrande thun, in englumigere Elemente aus. Wie im Holztheil nach innen, so sieht man im Basttheil nach aussen, die Stränge sich theilweise vereinigen. Mit der Einschaltung von Markstrahlen in den Gefässtheil hatte eben auch eine solche in den Siebtheil stattgefunden. — Die Markstrahlen bestehen im Gefäss- und Siebtheil aus radial gestreckten, dünnwandigen Elementen nur einer Art, die dicht mit Stärke erfüllt und sehr gerbstoffreich sind. Im tangentialen Längsschnitt erscheinen sie als spindelförmige Gewebsplatten von wechselnder Breite und Höhe; sie sind von radialen Intercellularen reichlich durchsetzt. Der zahlreichen Markstrahlen wegen ist der longitudinale Verlauf

der Gefässbündelelemente ein geschlängelter. Besonders unregelmässig erscheint der Verlauf und die Gestalt der innersten Tracheïden des äusseren Kreises; die Länge dieser Tracheïden ist zugleich gering. — Auf radialen Längsschnitten sieht man einzelne Gefässbündel den inneren Kreis verlassen, die äusseren Kreise schräg durchsetzen und in die Rinde treten. Es sind das nach den Blättern austretende Stränge. Die zahlreichen anderen, die Rinde nach allen Richtungen durchziehenden Gefässbündel sind die für Cycadeen charakteristischen Rindenbündel. Ihr Bau ist derartig, dass sie gewissermaassen wie um ihre Achse zusammengerollt erscheinen. Ihre Tracheïdenreihen strahlen von einem Grundgewebsstrange aus, dem die Stellung und Bedeutung eines Markes zukommt. — Gummigänge in grosser Zahl, sowie gerbstoffführende Zellen sind in der stärkereichen Rinde vertheilt. Doch will ich auf diese Verhältnisse hier nicht weiter eingehen und im Uebrigen auf die Schilderung von de Bary und die von demselben zusammengestellte ältere Litteratur verweisen. Hier kam es mir vor allem darauf an, zu constatiren, dass auch die Gefässbündel im Stamme der Cycadeen aus wesentlich den nämlichen Elementen wie bei den übrigen Gymnospermen aufgebaut sind, und dass dem Siebtheil der Gefässbündel bei den Cycadeen im Besonderen auch die eiweisshaltigen Bastparenchymzellen nicht fehlen.

Die Gefässbündel in den Blattstielen von Cycas führen dieselben Elemente wie im Stamme, doch in einer eigenartigen Vertheilung, die in mancher Beziehung an die bei den Gefässkryptogamen gegebenen Verhältnisse erinnert. Ein sehr zutreffendes Bild eines solchen Bündels von Cycas revoluta hat de Bary [1]) veröffentlicht, und ist dieses Bild neuerdings auch in Engler's und Prantl's Pflanzenfamilien [2]) aufgenommen worden, so dass ich es als bekannt voraussetzen darf. An dieses Bild will ich mich hier halten, muss aber gleich hinzufügen, dass in einen Theil der Zellen der Inhalt eingetragen werden müsste, um sie ihrem Werthe nach zu kennzeichnen. Was sofort an einem solchen Blattbündel von Cycas auffällt, ist, dass es seine Gefässprimanen nicht am Innenrande, sondern in der Mitte führt. Diesen engen Gefässprimanen, die aus Ring-, Schrauben- und

1) Vergl. Anat., Fig. 158, p. 349.
2) II. Theil, p. 12.

Netztracheïden bestehen, schliessen in diesem Falle nach innen zu, nicht nach aussen, weitere, behöft getüpfelte Tracheïden an. Diese Tracheïden bilden eine compacte Masse, in welcher anderweitige Elemente fehlen. Eben dieses Verhalten ist es, das an dasjenige der Gefässkryptogamen, beispielsweise der Farnkräuter, erinnert. Auch dort finden wir den Gefässtheil gebildet aus tracheïdalen Elementen, vielfach ohne jede Einschaltung lebendiger Zellen. Auch das Verhältniss der randständigen Vasalprimanen eines solchen Farnbündels zu den nachfolgenden Tracheïden ist das nämliche, wie es uns hier vorliegt. In der compacten Masse der Tracheïden des Blattbündels von Cycas tritt eine radiäre Anordnung der Elemente nicht deutlich hervor. Dieselben hängen auch allseitig durch dicht gedrängte Hoftüpfel zusammen. Sie werden am Innenrande des Bündels direct umfasst von den ziemlich stark verdickten, einfach getüpfelten, zum Theil Calciumoxalat führenden Elementen der Scheide; nach der Siebtheilseite grenzt an dieselben, indem es zugleich die Vasalprimanen umfasst, dünnwandiges Vasalparenchym. In dieses dünnwandige Parenchym sind noch vereinzelte, von den Vasalprimanen getrennte Tracheïden centrifugal eingestreut. Weiter schliesst im Bogen das Cambium an, von welchem nach aussen, in regelmässigen radialen Reihen, der Siebtheil ausstrahlt. Markstrahlartige Gewebsplatten sind hier, im Gegensatz zu den Coniferen, in den Siebtheil nicht eingeschaltet. Das Cribralparenchym wechselt vielmehr, in vorwiegend tangentialen Bändern, mit den Siebröhren ab. Vielfach lässt sich auch eine Reihe von Cribralparenchymzellen, in radial fortlaufender Reihe, eine Strecke weit verfolgen und verbindet so die tangentialen Parenchymbänder zu einem einheitlichen Ganzen. Bei Cycas revoluta ist die tangentiale Anordnung im Siebtheil der Blattbündel weit ausgeprägter als bei Cycas circinalis, bei letzterem ist oft überhaupt keine Regelmässigkeit in der Vertheilung der Elemente des Siebtheils kenntlich. In dem de Bary'schen Bilde wäre somit derjenige Theil der Elemente, der dem Cribralparenchym zugehört, besonders zu markiren. Die Siebröhren tragen ihre Siebtüpfel vorwiegend an den radial gestellten Wänden, doch kommt auch eine andere Orientirung vor[1]). Weinroth sich mit Jod färbende Körner

1) Russow (Sitzber. der Dorp. Naturf. Gesellsch. 1882, p. 284) giebt an, die Cycadeen seien von den übrigen Gymnospermen

und feinkörnige Massen sind in den Siebröhren nachzuweisen. In der Peripherie des Siebtheils fällt der aus zerdrückten Cribralprimanen gebildete Bogen sehr in die Augen. Er besteht aus entleerten und verdickten Elementen. Unter diesen ist es auf Längsschnitten leicht, die entleerten Elemente des Cribralparenchyms zu unterscheiden, die, an ihren eingeschalteten Querwänden kenntlich, jedenfalls auch die Function der Eiweissleitung zu vollziehen hatten. Diese Function dürfte hier der vorwiegenden Mehrzahl der cribralparenchymatischen Elemente zufallen, doch beweist die Gerbstoffreaction in einigen, dass bestimmte Zellenzüge auch der Leitung dieses Stoffes und somit auch wohl von Kohlehydraten dienen. Es kommt vor, dass der zerdrückte Streifen der Cribralprimanen doppelt ist; die nicht collabirten Elemente, welche die beiden Streifen trennen, sind aber auch entleerte Siebröhren, die nur nicht zerdrückt wurden. In der Nähe der Cribralprimanen trifft man einen Theil alter Siebröhren mit Callusplatten versehen. Ausserhalb der zerdrückten Cribralprimanen, zwischen diesen und den Elementen der Scheide, liegt stets eine dünnwandige, gestreckt-parenchymatische, ein- bis zweischichtige Zellschicht, deren Deutung als Pericykel sich ohne weiteres ergiebt. Die Elemente dieser Zellschicht sind gerbstoffhaltig. Sie umfasst den ganzen Siebtheil, die Flanken des dünnwandigen Vasalparenchyms, und erreicht mit ihren Rändern die behöft getüpfelte Tracheïdengruppe. Dieser Pericykel ist bei Cycas revoluta, dessen Gefässbündelscheide stärker verdickt ist, schärfer gegen dieselbe abgesetzt als bei Cycas circinalis. Die Scheide, welche im Blattstiel das ganze Bündel lückenlos umgiebt und bereits demjenigen Theil des Blattgewebes zugehört, das dem primären Rindengewebe des Stammes entspricht, ist an der Siebtheilseite besonders reich an Krystalldrusen von Calciumoxalat.

Wie schon Mettenius angegeben hat [1]), treten die Blattspurstränge von Cycas in Gestalt collateraler Bündel in die

---

dadurch ausgezeichnet, dass auch die tangentialen Wände Siebtüpfel führen. Ich kann diese Angabe, wie aus obigem hervorgeht, wohl für die Blattbündel, nicht für den secundären Zuwachs im Stamme bestätigen.

1) Abh. der math.-phys. Cl. d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss., Bd. VII, 1860, p. 577.

Blattscheide ein und erfahren erst innerhalb dieser ihre charakteristische Structurveränderung. Diese Aenderung habe ich für Cycas circinalis Schritt für Schritt verfolgt. Sie spielt sich innerhalb einer kurzen, nur wenig Centimeter messenden Region der Blattscheide ab. Die kräftigen Bündel, welche in die Blattscheide aus der Stammrinde eintreten, zeigen sich zunächst noch so wie im Bündelkreise des Stammes gebaut. Sie werden von Markstrahlen durchsetzt und führen ihre Vasalprimanen an der Innenkante. Dünnwandiges Vasalparenchym trennt die Vasalprimanen von den nachfolgenden Tracheïden und zeigt sich überhaupt nur an der Innenseite des Gefässtheils stärker entwickelt. In dieses Vasalparenchym rücken nun von den beiden Seiten her zunächst einzelne, dann in immer grösserer Anzahl die weiten, behöft getüpfelten Tracheïden ein, und in dem gleichen Maasse nimmt auch deren Menge an der Aussenseite der Vasalprimanen ab. Schliesslich sind sie alle an die Innenseite des Bündels gelangt und bilden dort im Anschluss an die Vasalprimanen den uns schon bekannten compacten Tracheïdenstrang. Zu gleicher Zeit vollzieht sich am Cambium die bogenförmige Krümmung, nehmen die Zellreihen im Siebtheil die fächerförmige Anordnung an und differenzirt sich die feste Bündelscheide. So geformt laufen nun die Gefässbündel durch den gemeinsamen Blattstiel, sich langsam nach dessen Ende zu erschöpfend, und geben, wie ja für Cycas bekannt, nur je einen Zweig an die Blattfiedern ab. Diese Bündelzweige durchsetzen die Fieder unverzweigt bis zur Spitze[1]). Gregor Kraus giebt an, der Mittelnerv der Blattfiedern sei in ein markähnliches Gewebe eingeschlossen, das beiderseits flügelartig ein eigenthümlich construirtes „Querparenchym" entsendet. Thatsächlich ist dieses „markähnliche" polygonale Gewebe an den Flanken des Bündels gebildet von netzförmig verdickten, parenchymatischen Elementen, die zum Theil aus lebendigen, plasmatischen Inhalt führenden, zum Theil aus tracheïdalen Elementen bestehen. Auf das Vorhandensein dieser tracheïdalen Säume bei den Cycadeen ist von Scheit bereits hingewiesen und ihre netzfaserige Verdickung

1) Vergl. Gregor Kraus, Ueber den Bau der Cycadeenfiedern, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IV, p. 334.

und behöfte Tüpfelung hervorgehoben worden [1]). Thatsächlich haben aber diese tracheïdalen Saumelemente nur da zweiseitig behöfte Tüpfel aufzuweisen, wo sie aneinander stossen, sie sind einseitig behöft getüpfelt, wo sie an lebendige Elemente grenzen. Sie hängen einerseits mit den Tracheïden des Gefässbündels zusammen, setzen sich andererseits zwischen die netzförmig verdickten lebendigen Zellen fort und dienen schliesslich als Ansatzpunkte für die schlauchförmig gestreckten, oft humerusartigen tracheïdalen Elemente, welche innerhalb querer, zwischen dem Palissadenparenchym der Oberseite und dem Schwammparenchym der Unterseite aufgehängten Parenchymbrücken, bis gegen den Rand der Fieder, verlaufen. Die gestreckten Elemente dieser Brücken sind es, die als Querparenchym bezeichnet worden sind. Zwischen diesen Parenchymzellen lassen sich die gleichsinnig orientirten, tracheïdalen Elemente unschwer verfolgen. Da sie einfache Zellfäden bilden, mit den Seiten somit an lebendige Elemente stossen, so sind ihre Tüpfel dort auch nur einseitig behöft. An ihren Enden hängen sie durch doppelt behöfte Tüpfel zusammen. An Längsschnitten durch die Blattfieder kann man das Vorhandensein longitudinaler Anastomosen zwischen den Brücken constatiren und auch wieder die tracheïdalen Verbindungen innerhalb dieser Brücken erkennen.

Durch die geschilderte Einrichtung ist somit, trotz mangelnder Verzweigung des Fiederbündels, für eine gleichmässige Vertheilung des Wassers durch das ganze Blattgewebe hinreichend gesorgt. — Gregor Kraus, dem bereits die in Betracht kommenden Elemente wegen ihrer Gestalt, Tüpfelung und ihres Chlorophyllmangels aufgefallen waren, stellte sich auch schon die Frage, ob sie nicht dazu bestimmt seien, die fehlenden Secundärnerven zu ersetzen [2]).

Andererseits ist an den Flanken des Bündels auch für einen unmittelbaren Zusammenhang zwischen den lebendigen Elementen des Bündelsaumes und den Rändern des Siebtheils gesorgt. Die an den Siebtheil zunächst anschliessenden parenchymatischen

---

1) Die Tracheïdensäume der Blattbündel der Coniferen etc., Jenaische Zeitschr. f. Naturw., Bd. XVI, N. F. Bd. IX, 1883, Sep.-Abdr. p. 17.

2) l. c. p. 334.

Elemente zeichnen sich auch hier durch reicheren plasmatischen Inhalt und relativ grosse Zellkerne aus und vollziehen somit die Function von Uebergangszellen.

Auch den übrigen Cycadeen fehlen die tracheïdalen Säume nicht [1]), wohl aber, soweit ich das überblicken kann, die bei Cycas vorhandenen, den Bündelsäumen entspringenden queren Tracheïdenstränge. Es mag dies durch den Umstand bedingt sein, dass die Lamina der anderen Cycadeen-Genera gefässbündelreicher ist. Die Blattfiedern von Zamia, Dioon, Ceratozamia sind von zahlreichen parallelen Nerven durchzogen. Bei Zamia villosa haben die Fiederbündel am Innenrande einige weitlumige Tracheïden aufzuweisen, welche dem gleich orientirten Tracheïdenstrange bei Cycas entsprechen. Das Bündel ist umscheidet von gestreckt parenchymatischem Gewebe, das an den Flanken des Bündels netzförmig verdickte tracheïdale Elemente enthält. Ein directer Zusammenhang derselben mit den Tracheïden des Bündels lässt sich nachweisen. Auch hier ist somit ein Gefässbündelsaum vorhanden, wenn auch nur ein Saum von geringer Mächtigkeit, der sich innerhalb des kreisförmigen Umrisses der Bündelscheide hält. Im Umkreise des Bündels sind Sklerenchymfasern vertheilt, doch ohne seitlichen Zusammenhang, so dass sie die Verbindung des Gefässbündels mit dem umgebenden Gewebe nicht hindern. Nicht wesentlich anders ist es bei Ceratozamia longifolia, während Dioon edule dadurch auffällt, dass ein Gummigang den Innenrand des Bündels einnimmt. Dessen ungeachtet sind auch bei Dioon edule die behöft getüpfelten, weitlumigen Tracheïden an der Innenseite der Vasalprimanen vertreten, und fehlt auch der Saum aus tracheïdalen Elementen an den Flanken der Bündel nicht.

1) Vergl. auch Scheit, l. c. Sep.-Abdr. p. 17.

Der Bau der Angiospermen.

Dicotyledonen.

Die Auswahl der untersuchten Objecte wurde durch eingehendes Studium der älteren Litteratur, die Reihenfolge der Behandlung durch die Structurverhältnisse bestimmt. So ziemlich alle vorkommenden Typen des inneren Baues dürften hier eine Besprechung finden; zugleich soll der Versuch gemacht werden, dieselben auf leitende Gesichtspunkte zurückzuführen. Eine möglichste Einschränkung ward geboten, sollte die Arbeit nicht alle Schranken überschreiten. Der Zweck der Untersuchung machte die Vorführung der einzelnen Objecte erwünscht. Das musste Wiederholungen veranlassen, ermöglichte andererseits allein eine so eingehende Behandlung, wie sie mir zur Erweckung eines lebendigen Bildes von jedem einzelnen Gegenstande nothwendig erschien.

Von Wichtigkeit musste es für mich sein, zunächst Drimys untersuchen zu können, weil dieselbe, wie bekannt, sich in dem Bau ihres Holzkörpers auffallend den Nadelhölzern nähert.

Durch die Güte der Herren Van Tieghem und F. W. Oliver standen mir ältere trockene Stammstücke, durch die Güte der Herren Grafen Solms-Laubach, F. W. Oliver und Thomas Hanbury in La Mortola frische Zweigstücke von Drimys Winteri zur Verfügung. So konnte ich meine Untersuchung nicht allein auf das Holz, sondern auch auf den Bast ausdehnen.

Der Querschnitt durch das Holz dieser, zu den Magnolia-

ceen gehörenden Iliciee [1]), macht ganz den Eindruck von Coniferenholz und zeigt ganz die nämlichen radialen, nur aus Tracheïden gebildeten Reihen [2]). Die Abgrenzung von Jahresringen durch Ausbildung englumiger Elemente am Schluss der Vegetationsperiode ist hingegen weit weniger ausgeprägt als bei den Nadelhölzern. Auch auf Längsschnitten zeigen die Tracheïden hier die nämliche Gestalt wie bei den Coniferen, und nur die Markstrahlen sind es, die zunächst daran mahnen, dass man kein Coniferen-Holz vor Augen habe. Diese Markstrahlen werden der Hauptsache nach von Elementen gebildet, deren Durchmesser in der Längsrichtung des Stammes, denjenigen in der Richtung des Radius übertrifft, ein Verhalten, welches de Bary [3]) veranlasste, die Markstrahlen hier als aus aufrecht stehenden Zellen gebildet zu bezeichnen. Diese Markstrahlen sind verschieden stark, von einstöckigen, einschichtigen bis zu vielstöckigen und vielschichtigen. Die vielstöckigen und vielschichtigen Markstrahlen haben einschichtige Ränder, und nur diese einschichtigen Ränder einerseits, sowie die peripherischen Reihen des mehrschichtigen Theiles andererseits, sind es, welche die bedeutende Höhenentwicklung bei geringerem radialen Durchmesser zeigen. Das Innere der mehrschichtigen Markstrahlen wird von weit niedrigeren Zellenzügen eingenommen, deren grösster Durchmesser meist in Richtung des Radius fällt. Freilich sind auch diese Zellen hier nicht als lang zu bezeichnen, da ihre radiale Länge oft kaum die Höhe übertrifft. Ich halte es für das Einfachste, für die Unterscheidung dieser beiden Zellenarten des Markstrahls die de Bary'sche Bezeichnung anzunehmen und von „liegenden" und „stehenden" Markstrahlzellen zu sprechen. Diese Bezeichnung glaube ich auch beibehalten zu können, nachdem Kny [1]), ganz neuerdings, vorgeschlagen

1) Vergl. Engler und Prantl, Die natürlichen Pflanzenfamilien, III. Theil, 2. Abth., p. 19.

2) Ausser Drimys zeigt diesen Bau auch Trochodendron (vergl. Eichler, Bemerkungen über die Structur des Holzes von Drimys und Trochodendron etc., Flora 1864, p. 452), eine Gattung der Trochodendraceen, welche als besondere Familie sich von den Magnoliaceen abtrennen lassen. Engler und Prantl, l. c. p. 21.

3) de Bary, Vergl. Anat., p. 501. Auch schon angegeben in Eichler, l. c. p. 451.

hat, die liegenden Markstrahlzellen als „Markstrahl-Merenchymzellen“, die stehenden als „Markstrahl-Palissaden“ zu kennzeichnen. — Nur zwischen den liegenden Zellen des Markstrahlinnern, sowie diesen und den peripherischen, stehenden, sind hier die radial verlaufenden Intercellularen nachzuweisen [2]). Den einschichtigen Markstrahlen, welche nur aus den stehenden Zellen bestehen, gehen dieselben daher auch ganz ab. Es liegt hier somit eine Arbeitstheilung im Markstrahlgewebe vor, indem ein Theil desselben den Gasaustausch mit der Luft der Intercellularen, und somit auch mit der umgebenden Atmosphäre besonders vermittelt. Diese Beziehung findet ihren deutlichen Ausdruck in den zahlreichen Tüpfeln, welche aus den liegenden Markstrahlzellen nach den Intercellularen führen. Diese liegenden Markstrahlzellen sind etwas stärker verdickt als die stehenden. Beide Arten von Zellen zeigen sich in radialer Richtung durch zahlreiche Tüpfel verbunden. Weit weniger Tüpfel verbinden seitlich die Markstrahlzellen, sowohl liegende unter einander, als auch mit den stehenden. Zwischen den stehenden Markstrahlzellen und den Tracheïden sind andererseits zahlreiche, einseitig behöfte Tüpfel ausgebildet. Aus diesem letzten Befunde geht hervor, dass den stehenden Markstrahlzellen von Drimys Winteri vornehmlich die Unterhaltung der Beziehungen zu den Tracheïden obliegt. Die nur aus stehenden Zellen gebildeten Markstrahlen sind ganz vorwiegend einschichtig, allenfalls zweischichtig; bei grösserer Dicke stellen sich die liegenden Zellen im Markstrahlinnern stets ein. Unterschiede im Verhalten des Inhalts der liegenden und der stehenden Markstrahlzellen liessen sich an dem älteren Holze, das mir trocken zur Verfügung stand, nicht mehr nachweisen, wohl aber an frischem Material der jüngeren Zweige, die ich durch die Güte des Grafen Solms-Laubach und des Herrn F. W. Oliver erhielt. Diese Zweige sind im Februar geschnitten worden und gingen mir frisch aus Strassburg, beziehungsweise aus Kew, zu. In mehrschichtigen Markstrahlen dieser Zweige

1) Ein Beitrag zur Kenntniss der Markstrahlen dicotyler Holzgewächse, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 1890, p. 176.

2) Auf diese Thatsache sowie das Vorhandensein der beiden Zellarten in den Markstrahlen von Drimys hat nunmehr auch Kny, l. c. p. 181 hingewiesen.

führten die liegenden Zellen Stärkekörner, und zwar im Umkreise des Zellkernes, während die stehenden Zellen, in den mehrschichtigen wie auch den einschichtigen Markstrahlen fast stets stärkefrei sich zeigten. Aehnliche Unterschiede im Verhalten von Markstrahlzellen, bei entsprechender Differenzirung werden uns auch in anderen Fällen begegnen. Das Ende August geschnittene Aststück, das ich frisch aus La Mortola erhielt, zeigte sich ganz stärkefrei.

Die Hoftüpfel stehen bei Drimys Winteri, wie bei den Coniferen, an den radialen Wänden der Tracheïden, und zwar an den weitesten in zwei, ja selbst in drei Reihen, an den engsten nur in einer Reihe. Sie münden innerhalb der Tracheïden mit einem schräg aufsteigenden Spalt und zeigen so in radialer Ansicht scharf gezeichnete Kreuze, die von dem kreisförmigen, die Durchmesser der beiden Spalte nicht überschreitenden Umriss des Hofes eingefasst werden [1]). Die Schliesshaut der Tüpfel weist einen deutlichen Torus auf. Tangential orientirte Hoftüpfel sind nicht selten und oft in breiteren Tracheïdenreihen auf längere Strecken hin zu verfolgen. An den Grenzen der Jahresringe nimmt ihre Zahl zu. Vielfach ist die Andeutung einer schraubigen Differenzirung innerhalb der Verdickungsschichten der Tracheïden zu erkennen, und die Uebereinstimmung mit den Coniferen reicht sogar bis zur stellenweisen Ausbildung radial orientirter Membranbalken, welche de Bary schon aufgefallen sind [2]), innerhalb der Tracheïden. Dass die Schliesshäute der einseitig behöften Tüpfel, welche die Tracheïden und die stehenden Markstrahlzellen verbinden, auch hier ohne Torus sind, braucht kaum hervorgehoben zu werden. Solche Tüpfel erreichen hier aber kaum grösseren Durchmesser als die beiderseits behöften und münden auch wie jene innerhalb der Tracheïden mit einem schrägen Spalt. Holzparenchym, das nach de Bary [3]) ganz fehlen soll, fand ich, so wie Kny [4]), in spärlichen Mengen vor. Die primären Gefässtheile enthalten ring- und schraubenförmig verdickte, gefässartige Tracheïden, welche durch leiterförmig verdickte Formen mit den definitiv gestalteten Tracheïden des

1) Vergl. auch Eichler, l. c. p. 451.
2) Vergl. Anat., p. 495.
3) l. c. p. 509.
4) Kny, l. c. p. 185.

secundären Zuwachses verbunden sind. Ebenso dient das longitudinale Vasalparenchym der primären Gefässtheile zum Ansatzpunkt der Markstrahlen, in welche es, sich bandartig zusammenziehend, übergeht.

Ueber den Bau des Siebtheils konnte ich mich nach Wunsch an dem aus La Mortola erhaltenen, 2 cm dicken Aststück orientiren. An den trockenen Stammstücken war die Rinde zu schlecht erhalten, um Einblick in diese Structurverhältnisse zu gestatten. Es kam mir vornehmlich darauf an, festzustellen, ob die Siebröhren bei Drimys von Geleitzellen begleitet werden, oder ob bei Drimys, wie bei den Coniferen, besondere Bastparenchym-, beziehungsweise Markstrahl-Zellzüge die Geleitzellen vertreten. Das erstere ist der Fall. Der secundäre Zuwachs im Siebtheil liefert, wie bei anderen Dicotylen, Siebröhren mit Geleitzellen und Bastparenchym. Diese Elemente sind untermischt, die Siebröhren fallen nur wenig im Querschnitt auf, da sie nicht besonders dichten Inhalt führen und die Weite der angrenzenden Elemente nur wenig überschreiten. Die Geleitzellen sind als solche nur dort leicht zu erkennen, wo sie von der Ecke einer Siebröhre abgeschnitten erscheinen; vielfach aber zeigen sie die gleiche Breite wie die Siebröhre und stehen ihr nur an Dicke nach. Sie kommen dann in dieselbe radiale Reihe mit ihrer Siebröhre zu liegen. Einzelne Elemente innerhalb der Bastparenchymzellreihen schwellen über das Maass der übrigen Bastelemente an und bilden sich als elliptische Gummiharz-Behälter aus[1]). Die Markstrahlen büssen innerhalb der Bastzone bald die im Holzkörper gegebene Differenzirung ein, und auch die Formunterschiede zwischen Rand- und Innenzellen gleichen sich in ihnen mehr oder weniger aus, wobei die stehenden Zellen des Holzmarkstrahls in der Rinde vielfach eine quere Theilung in zwei übereinander liegende Zellen erfahren. Ebenso ist festzustellen, dass sich zu den Seiten der ein- wie auch vielschichtigen Markstrahlen vielfach Intercellularen einstellen. In den älteren Theilen der breitesten Markstrahlen werden weiterhin, in der von mir untersuchten Rinde in etwa 0,5 mm Entfernung vom Cambium, einzelne Zellgruppen stark verdickt und so Steinzellnester ausgebildet. Beim Schneiden der Rinde

---

1) Sie werden als elliptische Gummiharz-Schläuche von de Bary erwähnt, Vergl. Anat., p. 152.

pflegen diese Nester vielfach durch das Messer herausgerissen zu werden. Ausserdem hatte die Rinde auch noch die Sklerenchymbelege an der Aussenseite ihrer primären Siebtheile aufzuweisen. Nach aussen zeigte sie sich bereits mit Kork abgeschlossen. Krystalle habe ich in der Bastzone ebensowenig wie de Bary [1]) gefunden, so dass Drimys Krystallbildung im secundären Zuwachs überhaupt abzugehen scheint. Hingegen führte auch die primäre Rinde und das Mark des Zweiges Gummiharz in einzelnen Zellen, und hatte das Mark auch eine Anzahl seiner Elemente zu Steinzellen verdickt.

Auch die Siebtheile der Blattbündel in den Petiolen von Drimys Winteri zeigten sich nach Dicotylen-Art, somit abweichend von den Coniferen, gebaut. Der Gefässtheil dieser Bündel erinnerte hingegen wiederum auffallend an die Verhältnisse bei den Coniferen. Die letzten blind endigenden Auszweigungen der netzartig verzweigten Gefässbündel in der Lamina entsprachen durchaus denjenigen anderer Dicotylen.

Wir wollen uns nunmehr von Drimys gleich zu einem völlig entgegengesetzten Baue wenden, einem solchen nämlich, der den Holzkörper der Hauptmasse nach aus Holzfasern gebildet zeigt. Wir gewinnen so einen erweiterten Standpunkt, wie er zum richtigen Verständniss complicirterer Fälle nothwendig ist.

Die Hauptmasse des Holzkörpers besteht aus Holzfasern bei den Leguminosen, und zwar empfiehlt es sich, die Mimoseen zunächst ins Auge zu fassen.

Ich beginne mit Albizzia moluccana als einem sehr instructiven Beispiel. Ein Stammstück in Alcohol erhielt ich, zugleich mit demjenigen von Gnetum, durch die Güte des Herrn Dr. Treub. Auf meine Anfrage, welcher der ihm bekannten Bäume der Tropen das schnellste Wachsthum zeige, erhielt ich von Dr. Treub die Antwort, dass es eben dieser Baum sei, und dies veranlasste zunächst meine Bitte um Zusendung des Materials. Die erwarteten Zelltheilungsbilder im Cambium erwiesen sich als für die Beobachtung nicht günstig; hingegen trat der für Mimoseen charakteristische Holzbau hier besonders prägnant hervor. Das mir zur Verfügung gestellte Stammstück war im Querschnitt elliptisch, der kleinste Durchmesser be-

1) l. c. p. 545.

trug 27, der grösste 33 cm. Bestimmte Zuwachszonen markirten sich als dunklere Ringe, doch unbestimmt und unvollständig, und konnten dieselben nicht Jahresgrenzen entsprechen, da sie vielfach weniger Abstand zeigten, als dies mit der Vorstellung eines starken Dickenwachsthums vereinbar war. Herr Dr. Treub hatte auf meine Bitte hin die Güte, mir einige Angaben über das Wachsthum der Albizzia zu machen. Er wiederholte es zunächst, dass von den Bäumen des Buitenzorger Gartens Albizzia moluccana der am schnellsten wachsende sei, und etwa nur noch die Caesalpiniee Schizolobium excelsum mit ihm wetteifern könnte. Von 5 Exemplaren, die ca. 2 Monate nach der Keimung, und zwar am 26. März 1888, im Freien ausgepflanzt wurden, hatte am 12. Juni 1889 errreicht:

A Höhe 3,71 m, Umfang 0,14 m
B „ 3,67 „ „ 0,10 „
C „ 2,78 „ „ 0,07 „
D „ 2,13 „ „ 0,06 „
E „ 2,34 „ „ 0,08 „

wobei die Messung des Umfangs in einer Höhe von 1,5 m über dem Boden ausgeführt wurde. Von zwei Bäumen, die am 18. December 1886 ausgepflanzt und am 11. Juni 1889 gemessen wurden, hatte:

F Höhe 16,50 m, Umfang 0,87 m
G „ 16,75 „ „ 0,85 „

erreicht. Von zwei Bäumen, die am 4. November 1884 ausgepflanzt und am 11. Juni 1889 gemessen wurden, hatte:

H Höhe 23 m, Umfang 1,17 m
J „ 24 „ „ 1,25 „

Endlich hatte ein Baum, der im November 1877 gepflanzt worden war, am 11. Juni 1889 ergeben:

K Höhe 38,5 m, Umfang 2,83 m.

Auf Grund dieser Angaben muss ich annehmen, dass das mir zur Verfügung stehende Stammstück 3 bis 4 Jahre alt sein mochte. — Wie Dr. Treub bemerkt, ist Albizzia moluccana nicht stark belaubt und wirft ihr Laub nicht ab.

Schon bei makroskopischer Betrachtung fallen die grossen Gefässe im Holzkörper der Albizzia moluccana auf. Dieselben sind im Mittel 0,25 mm weit, so weit somit, dass es unschwer gelingen kann, ein mittelstarkes Rosshaar in dieselben einzuführen. Das innere Stammholz ist dunkler gefärbt, an meinem

Alcoholmaterial in wenig ausgeprägter Weise, dunkelbraun hingegen bei Stammstücken anderer, trocken aufbewahrter Albizzien aus der Sammlung des Herrn Dr. Brandis. In jenen waren schon mit der Lupe ziemliche Mengen von braunem Schutzgummi in den Gefässen des Kernholzes zu erkennen, während ich in meinem Stammstück der Albizzia moluccana nur sehr wenig Schutzgummi in denjenigen Theilen auffinden konnte, die sich bei der mikroskopischen Untersuchung als Kernholz erwiesen. Da es mir nicht gelang, aus Schnitten durch das Kernholz der trocken aufbewahrten Albizzien das Schutzgummi durch Alcohol zu entfernen, so darf ich wohl annehmen, dass bei meiner Albizzia moluccana das Fehlen des Schutzgummis nicht etwa durch Liegen in Alcohol veranlasst war. — Dünne Querschnitte durch meine Albizzia moluccana aus den jüngeren Holztheilen, in Jodglycerin untersucht, zeigen jedes Gefäss, respective jede Gefässgruppe, von stärkeführenden Holzparenchymzellen umgeben. Die Markstrahlen selbst sind in dem betreffenden Holzstücke so gut wie stärkefrei. Ausser den Gefässen, dem Holzparenchym und der Markstrahlen, sind hier im secundären Zuwachs des Holzkörpers nur noch ziemlich weitlumige und relativ dünnwandige Holzfasern vorhanden (Taf. III, Fig. 1). Die Gefässe sind annähernd äquidistant; etwas näher aneinander gerückt an den sich markirenden Zuwachsgrenzen. Von diesen abgesehen lässt sich der mittlere Abstand in radialen Richtungen auf etwas mehr als einen Millimeter, in tangentialen auf etwas mehr als einen halben Millimeter angeben. Die Gefässe stehen somit ziemlich weit auseinander, und da sie von ziemlich schmalen Zonen von Holzparenchym umgeben sind, so wird die Hauptmasse des Holzes ganz vorwiegend von Holzfasern gebildet. Die Gefässe sind behöft getüpfelt. Sie stehen meist einzeln, seltener zu mehreren, dann in vorwiegend radialer Anordnung. Bei grösserer Zahl pflegen sie einen kleineren Durchmesser zu besitzen; oder das eine Gefäss ist weit, die übrigen sind eng. Mehr als drei Gefässe fand ich selten beisammen. Da es mir schon auf Grund der anatomischen Untersuchung wahrscheinlich werden musste, dass in diesem Holzkörper nur die Gefässe der Wasserleitung dienen, so hatte es für mich hohes Interesse, die einzelnen Gefässe in ihrem Verlauf zu verfolgen. Am besten führten mich zum Ziele möglichst lange, nicht allzu dünne, doch noch hin-

länglich durchsichtige Längsschnitte, die dem Verlauf der Gefässe nach Möglichkeit folgten. Ich musterte solche Schnitte bei schwacher Vergrösserung durch und suchte die wichtigsten Stellen derselben mit Hilfe weiterer Schnitte oder mit Nadeln freizulegen. Weniger sichere Erfolge waren an Macerationspräparaten zu erzielen. Ich gelangte zu dem Ergebniss, dass die einzelnen Gefässe zwar bedeutende Länge, bis 10 cm und darüber, erreichen, dann aber sich verjüngen und erlöschen, nachdem sie zuvor einem anderen Gefäss sich angelegt. Während die auf einander folgenden Glieder desselben Gefässes durch je eine weite Oeffnung communiciren, und die ursprünglichen Scheidewände nur als schmale horizontale Ringe an der Gefässwand vorspringen, sind die geneigten Endflächen, mit welchen die Gefässe auf einander stossen, behöft getüpfelt, entweder ohne Perforation, oder etwa nur mit einem runden Loche inmitten der schrägen, im Uebrigen behöft getüpftelten Wand versehen. Mit einer solchen Einrichtung, anscheinend ohne die Betheiligung sonstiger leitender Elemente, kann hier somit das Wasser bis zu bedeutenden Höhen befördert werden, denn die Albizzien wachsen über 30 m hoch empor. Die Gefässe der Albizzien werden, ihrer ganzen Länge nach, von lebendigen Elementen umhüllt. Die Markstrahlen vermitteln nur den Zusammenhang zwischen diesen Elementen. Sie führen denselben die nothwendigen Nahrungsstoffe zu, und war es gewiss in unserem Holze auffallend, dass die Markstrahlen stärkefrei, das Holzparenchym um die Gefässe dicht mit Stärke angefüllt sich zeigte. — Die Möglichkeit, dass die Markstrahlen hier, so wie es für Coniferen von Godlewski, Janse und Anderen angenommen worden ist, in die Wasserleitungsarbeit eingreifen, tiefer gelegenen Gefässen etwa das Wasser entziehen, in höher gelegene es einpressen sollten, ist anatomisch ausgeschlossen. Zwar lässt sich ausrechnen, dass auch hier jeder Markstrahl, der auf weite Strecken hin radial den Holzkörper durchsetzt, mit Gefässen in Berührung kommen muss; doch die Gefässe, die er in radialer Richtung etwa verbindet, liegen weit auseinander, können sich daher nicht gegenseitig mit Wasser versorgen. — Was die Westermaier'sche Annahme anbetrifft, dass die holzparenchymatischen Belegzellen der Gefässe tiefer gelegenen Stellen des Gefässes Wasser entziehen, um es an höher gelegene, von den ersteren durch Luftblasen

getrennte abzugeben, so ist dieselbe anatomisch möglich, doch an dieser Stelle nicht weiter zu erörtern, da, wie wir später sehen werden, die lebendigen Elemente an der Wasserleitung überhaupt nicht betheiligt sind.

Die Gefässe der Albizzia moluccana zeigen zweiseitig behöfte Tüpfel nur dort, wo sie auf einander stossen, im Uebrigen nur einseitig behöfte Tüpfel oder fast glatte Wände. Schraubenbänder fehlen und werden auch an den glatten Flächen nicht entwickelt. — Die Holzparenchymzellen, welche die Gefässe umgeben, sind zur Oberfläche derselben abgeflacht und besitzen nur geringe Länge. Sie gehen aus den Cambiumzellen durch wiederholte Quertheilung hervor. Die an jene Holzparenchymzellen grenzenden, werden länger und nähern sich allmählich in der Gestalt den Holzfasern. Im Allgemeinen sind es hier aber nur ein bis drei Lagen von Holzparenchymzellen, die man um die Gefässe trifft, so dass der stärkeführende Beleg um dieselben relativ schmal erscheint (Taf. III, Fig. 1). Das Gefäss communicirt durch einseitig behöfte Tüpfel mit diesen Holzparenchymzellen, doch fällt es auf, dass nicht nach sämmtlichen Holzparenchymzellen diese Tüpfel führen. Ein Theil derselben ist nur durch ganz spärliche, punktförmige Poren mit den Gefässen verbunden. Nur die Holzparenchymzellen der letzten Art sind es nun, welche Stärke enthalten. Es liegt hier somit im Holzparenchym, das die Gefässe umgiebt, eine ähnliche Arbeitstheilung vor, wie sie uns in den Markstrahlen von Drimys entgegentrat, und wie wir ihr noch wiederholt begegnen werden. Wo die Gefässwand dicht mit Tüpfeln bedeckt ist, weichen die Ansatzwände der Parenchymzellen diesen Tüpfeln aus und bekommen welligen Umriss. Die sämmtlichen Holzparenchymzellen, stärkeführende und stärkefreie, sind unter einander durch zahlreiche einfache Tüpfel verbunden. Diejenigen Elemente, welche in radialer Richtung zunächst an die Gefässe grenzen, zeichnen sich im Querschnit meist durch ihre Breite aus, und erst allmählich wird der gewohnte Durchmesser innerhalb der Reihen erreicht. Diese Elemente sind entweder Holzparenchymzellen oder Mittelformen zwischen solchen und Holzfasern. In letzterem Falle geht ihnen der lebendige Inhalt ab. Erst mit abnehmender Weite verlängern sich diese Elemente und spitzen sich zu und nehmen den ausgeprägten Charakter der Holzfasern an. Holzfasern von ausgeprägter Form

treten nur selten bis an ein Gefäss heran. Wo aber die Gefässwand an eine inhaltsleere Zelle von mehr oder weniger ausgeprägter Holzfasernatur grenzt, ist sie mit kaum merklichen Tüpfeln versehen, was wohl anzeigt, dass es auf eine nähere Verbindung zwischen dem Gefäss und jenen Elementen nicht ankommen kann. Die Markstrahlzellen welche ein Gefäss berühren, zeigen denselben Unterschied in ihrem Verhalten wie das Holzparenchym. Entweder sind ihre Wände durch zahlreiche Tüpfel mit dem Gefäss verbunden, oder diese Tüpfel fehlen so gut wie ganz. Der Regel nach sind es die Randzellreihen des Markstrahls, welche reiche Tüpfelung nach der Gefässseite aufweisen, die inneren Reihen nicht; doch können auch getüpfelte Zellreihen zwischen die nicht getüpfelten eingeschaltet sein. Die reich getüpfelten Markstrahlzellen müssen sich ganz wie die holzparenchymatischen Belegzellen in ihren Umrissen nach der Tüpfelung der Gefässwand richten. Alle Zellreihen des Markstrahls werden gleichmässig von Intercellularen begleitet, solche folgen auch den beiden Markstrahlkanten. Eine Ausbildung von Tüpfeln nach den Intercellularen war hier bei der relativ unbedeutenden Dicke der Markstrahlzellwände nicht erforderlich. — Die Holzfasern sind, wie schon erwähnt, ziemlich weitlumig, schwach verdickt und im Verhältniss nicht lang. Etwas englumiger, dickwandiger und länger werden sie an den Zuwachsgrenzen. Die Streckung, welche die Holzfaser nach ihrer Anlage im Cambium hier erfährt, fällt nicht bedeutend, im Vergleich mit anderen Fällen, aus. Die sehr kleinen, spaltenförmigen, schräg aufsteigenden Tüpfel an den Holzfasern sind sehr spärlich vertheilt und vielfach gar nicht aufzufinden. Da die Gefässe so weit auseinander stehen, so stören sie nur local die Anordnung der Holzfasern, die in geraden radialen Reihen fortlaufen. Diese Holzfasern sind ohne lebendigen Inhalt; normaler Weise führen sie Luft. Für Albizzia moluccana konnte ich letzteres nicht feststellen, da mir nur Alcohol-Material zur Verfügung stand, wohl aber für Albizzia lophantha, die ja in Gewächshäusern häufig cultivirt wird und einen der Albizzia moluccana entsprechenden Bau, wie später noch beschrieben werden soll, aufweist. Zwischen den Holzfasern zerstreut findet man in ziemlich grosser Anzahl krystallführende Zellreihen. Im Gesammtumriss den Holzfasern gleich, sind sie durch frühzeitige Quertheilung einzelner holzfaserähnlicher Elemente zu kurzen

Abschnitten entstanden. Jede dieser kurzen Zellen führt einen Krystall von Calciumoxalat. — Die zahlreichen, einschichtigen, etwa 5 bis 20 Zellreihen hohen Markstrahlen verlaufen wie die Holzfasern in gerader Richtung durch den Holzkörper, stellenweise nur abgelenkt durch die Gefässe. Die Markstrahlzellen sind relativ dünnwandig, radial gestreckt, unter einander gleich, durch einfache Tüpfel verbunden, auffallend inhaltsarm. Dem mächtig raschen Wachsthum entsprechend, zeigt die Zone unfertiger Elemente am Cambium hin relativ bedeutende Dicke. In dem von mir untersuchten Stammstücke führten die Holzparenchymzellen Stärke, in abnehmender Menge bis etwa 8 cm entfernt vom Cambium. Weiter nach Innen stellte sich eine schwache Bräunung des Holzkörpers ein und war mit einem gleichzeitigen Schwinden des protoplasmatischen Inhalts der Markstrahlzellen verbunden. Noch weiter nach innen folgte todtes Holz. Wie schon erwähnt, fand ich bei meiner Albizzia moluccana nur sehr wenig Schutzgummi in den Gefässen vor, an keiner Stelle Thyllen.

Die Reihen der Cambiumzellen setzen sich in den Basttheil fort, im Wesentlichen in ihrer radialen Anordnung nur an den Stellen gestört, wo Bastfaserplatten erzeugt worden sind. Denn zur Anlage dieser letzteren führen die Cambiumzellen auch longitudinale Theilungen von unbestimmter Orientirung aus. Wenig gestört erscheint hingegen die radiale Anordnung durch die ebenfalls longitudinalen Theilungen derjenigen Gewebsmutterzellen, welche zu Siebröhren werden und von einer ihrer Kanten englumige Geleitzellen abschneiden. In die Zusammensetzung des Bastes gehen ausser den genannten, stark verdickten Bastfasern, den Siebröhren und ihren Geleitzellen auch noch relativ sehr kurze Bastparenchymzellen und krystallführende Zellen ein. Die Bastparenchymzellen gleichen an Weite den Siebröhren, sind aber, auch im Querschnitt, an dem Fehlen von Geleitzellen leicht zu unterscheiden, andererseits liegen die krystallführenden Zellen den Bastfaserplatten dicht an und lassen an der geringen Weite ihres Lumens und ihrem sonstigen Verhältniss zu den Bastfasern leicht erkennen, dass sie gleichen Ursprung mit denselben theilen. Einzelne peripherische Zellen der durch longitudinale Theilung der Gewebsmutterzellen erzeugten Zellplatten werden eben nicht verdickt, vielmehr nach vollendetem Längenwachsthum, das demjenigen der Bastfasern

gleicht, durch Querwände in sehr kurze Zellen zerlegt, die weiterhin je einen Calciumoxalatkrystall in sich ausbilden. Die Verdickung der Bastfasern, wie auch die Ausscheidung des Calciumoxalats, erfolgt schon in nächster Nähe der Cambialzone, in der Region, in welcher die Siebröhren ihre Ausbildung noch nicht vollendet haben. Dass auch im Holztheil die Calciumoxalat-Ausscheidung in ganz ähnlichen Zellreihen wie an der Bastseite erfolgt, haben wir zuvor schon constatirt und fügen hinzu, dass sie sich auch dort an die Region hält, in welcher die Holzfasern noch ihren lebendigen Inhalt führen. Das Bastparenchym herrscht über die Siebröhren vor; die Bastfaserplatten, meist nur zwei bis drei Elemente stark, und von wechselnder Breite, sind ziemlich gleichmässig im übrigen Bastgewebe vertheilt, dem sie an Masse bedeutend nachstehen. Auffallend ist hier zunächst die relativ starke Zone activ bleibender Siebröhren, doch leicht verständlich bei den hohen Ansprüchen, die an die Cambiumthätigkeit gestellt werden. Schliesslich werden aber auch hier Siebröhren und Geleitzellen zerdrückt und in membranartige Platten verwandelt, die zwischen den Bastfaserplatten liegen. Nunmehr kann man leicht feststellen, dass auch die Siebröhren in tangentialen Bändern angeordnet und von den Sklerenchymfaserplatten durch Bastparenchym meist getrennt waren. — Die Markstrahlen erfahren beim Eintritt in den Bast keine merkliche Veränderung, und verrathen auch nicht eine Arbeitstheilung zwischen ihren Elementen. Die Intercellularen an den Markstrahlseiten erfahren eine Erweiterung. In den älteren Basttheilen werden sie auch hier, wie in den meisten anderen Fällen, zickzackförmig hin und her gebrochen. Alle Bestandtheile des Bastes kommen mit den Markstrahlen in Berührung. — Die Oberfläche des Stammes wird von einer Korkschicht eingenommen, an welche, nach innen zu, stark entwickeltes Phelloderm grenzt. Das Phelloderm führt Chlorophyll; zahlreiche, zu tangentialen Zonen angeordnete Steinzellnester sind in dasselbe eingebettet. Auch diese Steinzellnester erscheinen an ihrer Oberfläche mehr oder weniger vollständig von kleinen Zellen überzogen, die Einzelkrystalle von Calciumoxalat führen. So macht es bei Albizzia in der That wieder den Eindruck, als wenn Zellstoff- und Calciumoxalatablagerungen aneinander geknüpft wären. Andererseits haben wir bereits bei Coniferen (p. 81) auf die Vortheile aufmerksam gemacht, welche

der Pflanze aus der gemeinsamen Ablagerung von Nebenproducten erwachsen müssen. Dass diese Nebenprodukte an Ort und Stelle entstanden seien, ist auch hier wenig wahrscheinlich.

Stammstücke anderer Albizzien, die ich der Güte des Herrn Dr. Brandis verdanke, zeigten im Wesentlichen den nämlichen Bau wie Albizzia moluccana. Sie hatten dieselben Elemente aufzuweisen, wenn auch in etwas abweichendem Zahlenverhältniss und in etwas abweichender Vertheilung. Namentlich musste die bei den meisten Arten wesentlich stärkere Verdickung und geringere Weite der Holzfasern auffallen, wodurch gleiche mechanische Leistungen wie bei Albizzia moluccana, ohne so bedeutende Steigerung des Durchmessers, erreicht werden konnten.

Ein Stammstück von Albizzia procera Benth., in einem Abschnitt, der vom Mark bis zur Stammesoberfläche reichte, zeigte bei einem Halbmesser von 9,5 cm, 3 cm Splint und 6 cm Kern. Der Splint war hier hellgelb, der Kern braun. Auch dieser Stamm liess nur sehr unbestimmt begrenzte Vegetationsringe erkennen, er musste aber, nach beiläufiger Schätzung, älter als der fast doppelt so starke Stammabschnitt von Albizzia moluccana, nämlich mindestens zehn Jahre alt, gewesen sein. Die Gefässe fand ich nicht unwesentlich enger zusammengerückt, die Holzfasern bedeutend stärker verdickt. Viele Markstrahlen sind mehrschichtig, sonst die Vertheilung der Gewebe ganz wie bei Albizzia moluccana. Das braune Schutzgummi aus den Gefässen, dem Holzparenchym und den Markstrahlen des Kernholzes zu entfernen, gelang mit Alcohol nicht. Der Baum soll, nach Mittheilungen des Herrn Dr. Brandis, über 30 m hoch werden, sowohl einen feuchten als auch einen trocknen Standort vertragen. — Albizzia amara Boivin, die unter den Herrn Dr. Brandis bekannten Arten die trockensten Standorte bewohnt, zeigte wesentlich näher beisammenstehende, von wesentlich mehr Holzparenchym umgebene Gefässe; die Holzfasern sehr stark verdickt, mit ganz engem Lumen. Umgekehrt zeigte wiederum Albizzia stipulata Boivin, die nur feuchte Standorte bewohnt, eine nicht unwesentliche Annäherung an Albizzia moluccana. Albizzia amara ist nach Dr. Brandis nur ein kleiner, Albizzia stipulata ein über 30 m hoher Baum. Bei beiden ist der Kern dunkelbraun, während derselbe bei

Albizzia odoratissima Benth. eine nur wenig dunklere Färbung als der Splint, ähnlich der Albizzia moluccana, aufweist. Albizzia odoratissima soll sowohl trockne als auch feuchte Standorte bewohnen; sie erreicht sehr bedeutende Höhe und stimmt mit Albizzia procera am nächsten überein. So auch Albizzia Lebbeck Benth., ein hoher Baum mit dunklem Kern, der sich sowohl mit einem trocknen als auch einem feuchten Standort zufrieden giebt. Mehr der Albizzia moluccana genähert, mit ungefähr dem gleichen Abstand der Gefässe wie jene, und mit fast gleich weitlumigen, nicht viel stärker verdickten Holzfasern, doch mit wesentlich englumigeren Gefässen versehen, fand ich Albizzia Julibrissin, einen kleinen Baum mit dunklem Kern, der kühle Standorte im Himalaya bewohnt. — Die in unsern Gewächshäusern cultivirte Albizzia lophantha, die ich in einem 2 cm starken Exemplar der Untersuchung opferte, zeigte deutliche Jahresringe und stand im vierten Jahre. Die Gefässe sind bei Albizzia lophantha in ziemlich bedeutenden Abständen vertheilt, und stärkeführendes Holzparenchym umgiebt dieselben. Ist dieses Holzparenchym in grösserer Mächtigkeit vertreten, so nimmt in demselben die Zahl der Querwände in dem Maasse ab, als es sich vom Gefäss entfernt. Schliesslich können die Querwände ganz fehlen, so dass wir mit Stärke erfüllte Holzfasern, oder richtiger Ersatzfasern, vor uns haben. Die den Gefässen unmittelbar angrenzenden Zellen des Holzparenchyms und der Markstrahlen zeigten sich im Allgemeinen auch hier stärkefrei bei vollkommenerer, stärkehaltig bei unvollkommenerer Tüpfelung an der Gefässseite, doch diese Arbeitstheilung bei weitem weniger ausgeprägt als bei Albizzia moluccana. Ohne Kenntniss der Einrichtung bei der letzteren, würde diese Verschiedenheit hier kaum auffallen. — An der Jahresgrenze nimmt die Wandverdickung der Holzfasern von Albizzia lophantha nicht unwesentlich zu, die Weite des Lumens ab. Vielfach zeigen ganze Holzpartien, vornehmlich die stärker verdickten der Jahresgrenzen, in ihren Holzfasern die bei Leguminosen so häufige[1]), gallertartige innerste Verdickungsschicht, die sich in Jodjodkalium violett färbt. Alle fertigen Holzfasern führen, wie hier leicht constatirt werden konnte, Luft und be-

1) Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 103; de Bary, Vergl. Anat., p. 497.

sitzen spaltenförmige, schräg aufsteigende Tüpfel. Den Bau des Bastes fand ich so übereinstimmend mit Albizzia moluccana, dass ich dessen Schilderung hier übergehe. Ebenso sind die krystallführenden Zellreihen hier ganz ebenso und an den gleichen Orten im Holz und Bast vertheilt. Bemerkt sei aber noch, dass an diesem, im Leben untersuchten Objecte, leicht in den Markstrahlen die lufterfüllten Intercellularen von der Rinde bis in den Holzkörper verfolgt werden konnten.

Nicht anders als bei den Albizzien ist der Bau des Stammes bei den neuholländischen Acacien. Ich berühre letztere auch nur aus dem Grunde, weil sie mit Phyllodien von mehrjähriger Lebensdauer versehen sind. Es lag nämlich nahe, hier zu verfolgen, welche Elemente des secundären Zuwachses sich in die Blattspur fortsetzen. Dieses musste nothwendiger Weise weitere Anhaltspunkte für die Beschreibung der Function dieser Elemente ergeben. Der Holzkörper der Acacien bietet somit, wie derjenige der Albizzien, im secundären Zuwachs nur Holzfasern, von Holzparenchym umgebene, einzeln stehende, auch zu mehreren vereinigte Gefässe, und Markstrahlen. Die Holzfasern fand ich im Allgemeinen ziemlich stark verdickt. — Innerhalb des Gelenkpolsters rücken die drei aus dem Phyllodium kommenden Gefässbündel zu einem axilen Strange zusammen. Mit Eintritt in die Rinde biegen sie wieder auseinander und eilen getrennt dem Holzkörper zu. Bei Acacia floribunda kann man in solcher Weise die dreisträngige Blattspur aus jedem Phyllodium in die Rinde treten sehen. Ich habe mich begnügt, das Verhalten des mittleren dieser drei Gefässbündel zu verfolgen. Auf radialen Längsschnitten durch den Stamm, welche die Mediane des Phyllodiums in sich fassen, kann man feststellen, dass das mittlere Gefässbündel in schrägem Verlauf den secundären Holzkörper durchsetzt, und dass es innerhalb desselben thatsächlich nur die Gefässe und das sie umgebende Holzparenchym in sich aufnimmt. Die weiten Gefässe des Stammes bereiten sich zum Eintritt in die Blattspur dadurch vor, dass sie sich zunächst in Stränge engerer Gefässe verwandeln, und diese sind es, die sammt dem sie begleitenden Holzparenchym in die Blattspur ausbiegen. Während dieses Ausbiegens und innerhalb der Blattspur nehmen die einzelnen Gefässglieder ein mehr tracheïdales Aussehen an, indem

ihre Querwände erhalten bleiben, in eine stark geneigte Lage gerathen und mit Hoftüpfeln versehen werden. Meistens weisen aber die Querwände auch noch je ein Loch an irgend welcher Stelle auf, so dass die durch solche Löcher verbundenen Elemente noch als Gefässglieder gelten müssen. Während des Eintritts in die Blattspur und innerhalb derselben nimmt auch die Wandverdickung der Gefässe jene charakteristische netzförmig quergetüpfelte Structur an, wie sie uns von den nämlichen Orten her bei den Coniferen in Erinnerung steht. Während in solcher Weise die Gefässstränge in die Blattspur eintreten, keilen sich die zwischenliegenden Holzfasern unter denselben aus, die angrenzenden weichen aber seitlich aus. Dieses Verhalten zeigt doch wohl sicher an, dass die Saftzufuhr zu den Phyllodien nur durch die Gefässe erfolgt. Jede Blattspur wird an ihrer oberen Seite von parenchymatischem Gewebe begleitet, welches auch hier, wie bei den Coniferen, den Bestandtheil des Markes an dieser Blattspur ausmacht und weiterhin auch in Verbindung mit dem Mark der Tragachse tritt. Letzteres springt hier in Gestalt einer schmalen Gewebsplatte nach aussen vor und verbindet sich frühzeitig mit dem Mark der Blattspur und auch demjenigen der über ihr befindlichen Achselknospe. So wie an den Blattspuren und Kurztriebbündeln immergrüner Coniferen, constatirt man auch hier eine Streckung und endliche Zerreissung der ältesten oberen Gefässe der Blattspuren in der Cambiumgegend; das parenchymatische Gewebe folgt dort hingegen der Dehnung durch fortgesetzte Zelltheilung. — Bei der mit kurzen, stechenden Phyllodien besetzten Acacia verticillata wird das Bild fast noch instructiver, weil die Blattspur so gut wie senkrecht den Holzkörper der Tragachse durchsetzt und dabei weit schwächer entwickelt ist. Die Gefässe des secundären Zuwachses im Stamm sind bei dieser Species von relativ viel Holzparenchym umgeben. — Mit Eintritt in das Gelenkpolster werden die Blattbündel der Phyllodien wieder mit Holzfasern versehen. Das die Gefässe umgebende Holzparenchym sowie die Markstrahlen führen Chlorophyll. — Der Siebtheil der Blattbündel hat denselben Bau wie derjenige des Stammes aufzuweisen, doch fehlen ihm die eingeschalteten Sklerenchymfasern. Wohl aber wird der Siebtheil nach aussen von einer starken Schicht collenchymatisch verdickter Elemente, die peripherisch mit krystallführenden Zellen

bedeckt ist, umgeben. Dem entsprechend sieht man vom secundären Bast der Tragachse nur die Siebröhren sammt Geleitzellen und das Bastparenchym in die Blattspur übergehen, die secundären, in der Tragachse erzeugten Bastfasern hingegen der Blattspur ausweichen. Die primären Sklerenchymfasern der Tragachse setzen sich in das Collenchym der Blattspur fort. Ein merklicher Dickenzuwachs war an den Gefässbündeln des Gelenkpolsters nicht zu constatiren.

Die überaus leichten, zum Theil auf dem Wasserspiegel vegetirenden Hölzer der den Hedysareen zugezählten Gattungen Herminiera und Aeschynomene weisen die nämlichen constituirenden Elemente wie die eben geschilderten Albizzien und Acacien auf. Das führt zu einer interessanten vergleichend-morphologischen Gegenüberstellung. Durch die Güte des Herrn Dr. Heinrich Schenck standen mir zwei brasilianische Aeschynomene-Arten in Alcohol-Material zur Verfügung: Aeschynomene sensitiva und Aeschynomene hispida, beides in der Provinz Rio de Janeiro von Dr. H. Schenck gesammelte Sumpfsträucher. — Das Bild, welches der Querschnitt der Aeschynomene sensitiva bietet, macht zunächst ganz denselben Eindruck als derjenige einer Albizzia moluccana, nur dass die Gefässe um das Vielfache enger sind. Als eigenartige Erscheinung fällt auf, dass überall dort, wo der Querschnitt die Enden der den Holzfasern entsprechenden Elemente gestreift hat, diese Enden netzadrig getüpfelt erscheinen. Als weitere Eigenthümlichkeit bemerkt man, dass das stärkeführende Holzparenchym die Gefässe vorwiegend nur in ihrer dem Cambium zugekehrten Seitenhälfte umkleidet, an die markwärts gerichtete Hälfte der Gefässe hingegen stärker verdickte Holzfasern grenzen (Taf. III, Fig. 2). Diese stärker verdickten Holzfasern bilden meist kurze, sich bald auskeilende tangentiale Bänder, in deren Mitte annähernd das einzelne Gefäss, selten mehr als zwei Gefässe, liegen. Dem Bande dieser stärker verdickten Holzfasern folgt vielfach an der Cambialseite ein Band von Holzparenchym. Das Band der Holzfasern besteht stets aus weitlumigeren und englumigen Elementen, welche letztere aber nur den Enden höher und tiefer gelegener Holzfasern entsprechen. An manchen Stellen des Holzkörpers findet man auch fast vollständige Ringe aus stärker verdickten Holzfasern ausgebildet.

Solche Ringe können sehr rasch auf einander folgen, doch auch weit von einander entfernt sein, so dass es kaum denkbar ist, dass sie Jahresgrenzen angeben. Die verdickten Holzfasern pflegen sich erst in einer gewissen Entfernung vom Mark an der Markseite der Gefässe einzufinden, zunächst werden die Gefässe nur vom Holzparenchym, das sich, wie auch späterhin, an deren Cambialseite hält, begleitet. In den über dem Wasserspiegel befindlichen Stammtheilen ist die Menge der verdickteren Holzfasern grösser, auch die Verdickung aller übrigen Zellwände etwas mehr gefördert als in den submersen Partieen. Die den Gefässen zunächst anliegenden Holzparenchymzellen zeigen sich nach gewohnter Weise abgeflacht. An einem 12 mm dicken Stammtheile fand ich das Mark ausgehöhlt; in den Gefässen, zum Theil auch dem Holzparenchym des innersten Viertels des Holzkörpers, war Wundgummi nachzuweisen. Die einreihigen Markstrahlen führten aber noch grösstentheils bis zum Mark Stärke.

Bereits am Querschnitt constatirt man, dass die, wie die Holzfasern der Albizzien und Acacien angeordneten, in radialen Reihen fortlaufenden Elemente auch hier ohne plasmatischen Inhalt sind. Sie führen unter natürlichen Verhältnissen, wie von Dr. Schenck constatirt wurde, nur Luft. Sie entsprechen somit ihrer Stellung und ihrem Inhalte nach den Holzfasern der zuvor behandelten Mimoseen und können zweifellos auch nur eine mechanische Rolle spielen. Von den Holzfasern der Mimoseen unterscheiden sie sich durch den Mangel einer Zuspitzung, müssen trotzdem, vom vergleichend-morphologischen Standpunkt aus, in die Kategorie der Holzfasern gerechnet und etwa als gestauchte Holzfasern unterschieden werden. Diese ihre Eigenthümlichkeit fällt vor allem am Längsschnitte auf. Da stellt man fest, dass diese gestauchten Holzfasern in geraden Reihen vom Cambium bis zum Marke fortlaufen, und dass sie ebenso in tangentialer Richtung gerade Reihen bilden, dass es sich in einem Worte hier um eines jener Hölzer mit „stockwerkartigem Aufbau“ handelt, auf welche v. Höhnel seinerzeit hingewiesen hat [1]). Die gestauchten Holzfasern behalten

---

1) Ueber stockwerkartig aufgebaute Holzkörper. Sitzber. der k. Wiener Akad. d. Wiss., I. Abth., Math.-naturwiss. Cl., 1884, p. 30. Aedemone mirabilis (Aeschynomene) wird p. 38 angeführt.

hier die Länge der Cambiumzellen und auch deren Gestalt und haben demgemäss die Form vier- bis achtkantiger, vorwiegend aber sechskantiger Prismen, die etwa vier Mal so hoch als breit sind und dachig, ein- bis zweiseitig, gegen die Radialkante unter etwa 45° geneigte Endflächen besitzen (Taf. III, Fig. 3). Diese Endflächen sind in prägnanter Weise getüpfelt und zwar mit einfachen Tüpfeln versehen, welche in der Aufsicht das Bild eines Netzwerkes hervorrufen. Auch an den Seitenwänden dieser dünnwandigen, gestauchten Holzfasern sind solche Tüpfel, meist in Gruppen vereinigt, zu sehen. Die Seitenwände verrathen zugleich eine zarte, spiralige Streifung. Die Tüpfel folgen dieser Streifung und sind etwas spaltenförmig in deren Richtung gestreckt; ja gerade an den getüpfelten Stellen tritt die Streifung am deutlichsten hervor. Die verdickten Holzfasern, welche die Gefässe stützen, und auch wohl in breiteren Bändern auftreten, sind gestreckt, an den Enden zugespitzt; sie wachsen mit diesen Enden zwischen einander und erreichen annähernd die dreifache Länge ihrer Cambiumzellen; ihre Tüpfel werden etwas englumiger als an den gestauchten Holzfasern und sind auch mehr vereinzelt. Stellenweise können diese Holzfasern so stark verdickt sein, dass sie im Querschnitt fast wie Bastfasern erscheinen. Die an die Gefässe grenzenden stärkeführenden Elemente unterscheiden sich, der Mehrzahl nach, von den gestauchten Holzfasern nur durch ihren lebendigen Inhalt, sind somit eigentlich Ersatzfasern. Mit den Gefässen hängen sie durch einseitig behöfte, unter einander durch einfache Tüpfel zusammen. Letztere sind ebenso gestaltet wie die Tüpfel, welche die gestauchten Holzfasern verbinden, doch grösser. Stellenweise werden diese Ersatzfasern durch Querwände gefächert, so dass wir echtes Holzparenchym erhalten. Mehr als eine Querwand habe ich in denselben kaum beobachtet, es sei denn, dass es sich um krystallführende Holzparenchymzellen handelte. Um solche zu bilden, zerfällt eine Cambiumzelle in eine ganze Anzahl kurzer Zellen. Die Calciumoxalat führenden Elemente treten übrigens im Holzkörper nur ganz vereinzelt, eigentlich nur ausnahmsweise auf; im Uebrigen ist das ganze Calciumoxalat auf den Bast verwiesen. — Sehr instructiv ist das Studium der Markstrahlen, die hier in doppelter Ausbildung als einschichtige und mehrschichtige auftreten. Dr. H. Schenck hat bereits in seiner Abhandlung über das Aëren-

chym[1]) auf diese Erscheinung hingewiesen. Er zeigte, dass die weitesten Markstrahlen mit den Lenticellen der Stammoberfläche in directer Verbindung stehen, somit in auffälliger Weise der Durchlüftung dienen, dass die Lenticellen sich aber vornehmlich stark ausgebildet an den submersen Stammtheilen finden. Die mehrschichtigen Markstrahlen sind auch weit kräftiger in den submersen Stammtheilen entwickelt, doch auch wesentlich zahlreicher. Zugleich wird ihr Bau auffallend locker, so dass ihre Zellreihen vielfach nur an ganz schmalen Stellen in Verbindung stehen. In den einschichtigen Markstrahlen sind die stark gestreckten Zellen sehr gleichmässig ausgebildet; in den lockerer gebauten, mehrschichtigen Markstrahlen können die einzelnen Elemente unregelmässig anschwellen. An tangentialen Längsschnitten fallen die inneren Elemente der mehrschichtigen Markstrahlen oft ganz heraus, es bleiben dann nur die peripherischen Zellen zurück, welche an die benachbarten Elemente des Holzkörpers grenzen. Die einschichtigen Markstrahlen, deren Zellreihen fest verbunden sind, zeigen sich durch alle Zwischenformen mit den mehrschichtigen lockeren verbunden. Die einschichtigen Markstrahlen sind fast durchweg ohne Intercellularen an ihren Seiten, doch giebt es auch bereits solche, die, einschichtig geblieben, sich doch schon in ihrem Baue an die mehrschichtigen anschliessen. Sie werden alsdann, je nachdem sie fester oder lockerer gebaut, von engeren oder weiteren Intercellularen begleitet. Die mehrschichtigen lockeren Markstrahlen können stellenweise an den Seiten von höheren Zellen eingefasst sein, der Hauptsache nach sind aber alle ihre Zellen gleich niedrig, und die weiten Intercellularen stossen an die angrenzenden gestauchten Holzfasern. Aus diesen führen, trotzdem ihre Wände nicht stark verdickt, zahlreiche Poren nach diesen Intercellularen, ebenso zahlreich wie die Poren, welche diese Holzfasern seitlich unter einander verbinden. Durch diese Poren mag die Füllung der gestauchten Holzfasern mit Luft wesentlich erleichtert werden. Ebenso sind andererseits auch diese Holzfasern mit den Markstrahlzellen selbst durch Poren verbunden und ist somit, durch Vermittelung der Holzfasern, auch für Gaszufuhr zu den intercellularfreien Markstrahlen gesorgt. Die Zellen der lockeren Markstrahlen

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XX, 1889, p. 568.

sind entschieden inhaltsreicher. In den grösseren lockeren Markstrahlen findet man vielfach ausser lebendigen auch luftführende Elemente, indem ein Theil der Zellreihen dort eine ähnliche Ausbildung wie die Holzfasern erfährt. Diese luftführenden Zellreihen nehmen meist das Innere des Markstrahls ein, sie verrathen vielfach ihre innigere Beziehung zu den gestauchten Holzfasern dadurch, dass sie seitlich ausbiegen, um zwischen den lebendigen Markstrahlzellen hindurch die Holzfasern zu erreichen. In den mehrschichtigen Markstrahlen sowohl der unter Wasser befindlichen als auch der nicht untergetauchten Stammtheile, vornehmlich aber der ersteren, findet man endlich nicht selten einen feinen Gefässbündelstrang verlaufen. Dieser Gefässbündelstrang fängt in grösserer oder geringerer Tiefe innerhalb des Holzkörpers an und lässt sich bis zur Stammesoberfläche verfolgen. Er schliesst mit seinem Ende an ein Gefäss an und führt uns die Gefässtheile des axilen Gefässbündelcylinders einer schwachen Adventivwurzel vor, welche nur kurze Zeit functionirte. Diese Wurzeln werden im Pericykel vor den Markstrahlen angelegt, und es gelingt gelegentlich, eine Anlage derselben zu treffen. Die mehrschichtigen Markstrahlen dehnen sich je nach ihrer Höhe über eine grössere oder geringere Zahl von Stockwerken der gestauchten Holzfasern aus. Die einschichtigen Markstrahlen zeigen, ihrer Mehrzahl nach, die Höhe eines Stockwerkes, gehen aber auch bis auf den Bruchtheil eines Stockwerkes zurück. Dann ist der restirende Theil über oder unter dem Markstrahl entweder von einem Bande in ihrer Höhe entsprechend reducirter Holzfasern eingenommen, oder die seitlich angrenzenden Holzfasern schliessen an der Markstrahlkante zusammen. Dementsprechend zeigen die Markstrahlen breite oder zugeschärfte Ränder. Da sich die meisten Lenticellen unter Wasser befinden, die lufterfüllten Intercellularen der Markstrahlen in denselben enden, so ist anzunehmen, dass die Lenticellen die Fähigkeit besitzen, dem umgebenden Wasser die in demselben gelösten Gase zu entziehen. Die von den Intercellularen der Markstrahlen aus erfolgende Füllung der Holzfasern mit Luft verringert aber das specifische Gewicht des Holzkörpers, entsprechend den Bedürfnissen der Lebensweise. Bei der nicht unbedeutenden Ausdehnung des Querschnittes wird, trotz der Dünnwandigkeit der gestauchten Holzfasern, eine hinreichende Festigkeit erlangt,

wobei ich nochmals bemerke, dass die Menge der verdickten Holzfasern in dem nicht untergetauchten Stammtheile wesentlich grösser ist, dort auch die gestauchten Holzfasern etwas englumiger und dickwandiger erscheinen. Umgekehrt sind dieselben Holzfasern noch weitlumiger und dünnwandiger als in den submersen Stammtheilen in dem secundären Zuwachs der Wurzel. Dort fehlen die verdickten Holzfasern fast vollständig, die Gefässe selbst sind nur wenig stärker als die gestauchten Holzfasern verdickt, stellenweise auch kaum weitlumiger als jene, aber stets kenntlich gemacht durch den Beleg aus stärkeführendem Holzparenchym auf ihrer cambiumwärts gekehrten Seite. — Dass das Lumen der gestauchten Holzfasern nicht der Wasserleitung dienen kann, folgt aus dessen Luftgehalt; aber auch für eine Aufwärtsleitung des Wassers durch Imbibition innerhalb ihrer Wände müssten diese so dünnwandigen Elemente wenig geeignet erscheinen.

Ueber den Bau des secundären Bastes will ich nur bemerken, dass er sich aus denselben Elementen zusammengesetzt zeigt, die wir bei den Mimoseen gefunden. Doch sind die Bastfasern hier nicht zu tangentialen Bändern, vielmehr in kleineren Gruppen angeordnet, oder einzeln zwischen den anderen Elementen zerstreut. Auch hier werden diese Bastfasern von krystallführenden Zellreihen begleitet.

Bei Aeschynomene hispida fand ich den Bau demjenigen der vorhergehenden Art so ähnlich, dass ich mich nicht veranlasst sehe, auf denselben weiter einzugehen.

Wie aus der für Aeschynomene gegebenen Schilderung folgt, stimmt der Bau ihres Holzkörpers durchaus mit demjenigen der auf dem Wasserspiegel vegetirenden Leguminosen, dem Schwimmholz vom weissen Nil, „Ambatsch“, und anderen verwandten Gewächsen überein. Das lehrt der Vergleich mit den Schilderungen der Aedemone mirabilis Kotschy durch Hallier[1]), der wahrscheinlich identischen Herminiera Elaphroxylon G. P. R. durch Jänsch[2]) und vornehmlich auch mit der Beschreibung bei de Bary[3]). Dass aber die gestauchten Holzfasern dieser

1) Bot. Ztg., 1859, p. 133 u. Taf. VI, und Bot. Ztg., 1864, p. 93, Taf. III.

2) Ueber den inneren Bau und die sonstigen Eigenthümlichkeiten des Ambatsch etc. Breslauer Inaugural-Dissert., 1883.

3) Vergl. Anat., p. 515.

Pflanzen trotzdem sie Luft führen, nicht, so wie es von de Bary geschieht, als Tracheïden bezeichnet werden können, geht wohl aus dem Vorhergehenden sicher genug hervor.

Die Schilderung, welche v. Höhnel von dem Bau des Holzes der Caesalpiniee Bocoa (Inocarpus) provacensis Aubl. entwirft, veranlasste mich, auch dieses Holz in den Kreis meiner Untersuchungen zu ziehen. Nach v. Höhnel [1]) würde das Boko- oder Cocoholz der Hauptmasse nach aus sehr dickwandigen libriformähnlichen Tracheïden bestehen. Diese Angabe stimmte nicht zu der Auffassung, die ich von dem Bau der bereits geschilderten und noch zu schildernden Leguminosen gewonnen, und verlangte daher eine Prüfung. Es stellte sich alsbald heraus, dass es thatsächlich auch bei Bocoa Holzfasern sind, welche die Hauptmasse des Holzes bilden, und dass der Hof, den v. Höhnel am Grunde der eigenthümlich gestalteten Tüpfel dieser Holzfasern schildert, nur eine kleine Erweiterung ist, wie sie auch unbehöfte Tüpfel an ihrer Basis aufweisen.

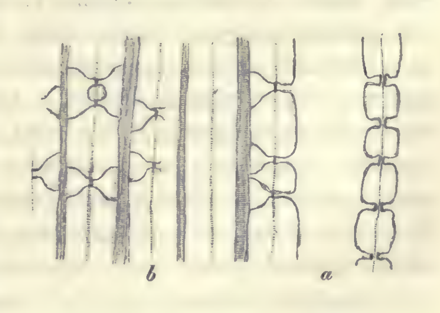
Die Möglichkeit, dieses interessante Holz zu untersuchen, verdanke ich der Güte der Herren Prof. Van Tieghem und Dr. F. W. Oliver.

Die Beschreibung, welche v. Höhnel von dem Baue des Holzes der Bocoa provacensis giebt, ist durchaus zutreffend. Er hebt mit Recht grosse Regelmässigkeit im Aufbau dieses Holzes hervor, und schildert ganz richtig die Gestalt und Vertheilung der einzelnen Gewebe und Elemente. Der Querschnitt des Stammes zeigt concentrische Ringe, die dadurch zu Stande kommen, dass breitere Zonen aus Holzfasern mit schmalen Zonen aus Holzparenchym abwechseln. Die Zahl der Gefässe innerhalb eines Quadratmillimeters mag im Durchschnitt fünf betragen. Die Gefässe sind mehr oder weniger vollständig von Holzparenchym umfasst. Sie liegen entweder in der Holzfaserschicht, oder, wie vorwiegend, in den concentrischen Holzparenchymbändern, oder endlich das Holzparenchym setzt sich zu den beiden Seiten derselben flügelartig auf eine kürzere oder eine längere Strecke fort. Der stockwerkartige Aufbau zeigt sich sowohl im tangentialen als auch im radialen Längsschnitt.

---

1) Ueber stockwerkartig aufgebaute Holzkörper. Sitzber. der Wiener Akad., I. Abth., 1884, p. 30.

Die schmalen hellen Streifen, die man in der tangentialen Ansicht, in ca. 0,28 mm Entfernung über einander sieht, werden von den annähernd wagerechten Stockwerken der mit Luft erfüllten Tüpfel gebildet. Zwischen diesen Streifen zeichnen sich die Markstrahlen als senkrechte, feine Striche. Sie schliessen mit ihren Enden innerhalb der hellen Streifen ab. Die feinen Striche lassen sich in die von den Markstrahlen gebildeten „Spiegel" der radialen Längsansicht verfolgen. Den Rändern der Markstrahlen entsprechen auch in dieser Ansicht die von den Tüpfeln eingenommenen Stockwerke. Seitlich zwischen den Markstrahlen werden die Holzfasern nur durch spärliche Tüpfel unter einander, durch zahlreichere nur mit den Markstrahlzellen verbunden. Auf dies alles hat bereits v. Höhnel hingewiesen. Auch hebt derselbe schon hervor, dass die Holzfasern, seine Tracheïden, einen mittleren stärkeren Theil und zwei schmälere Enden besitzen. Daher man häufig in Querschnitten breitere und schmälere Reihen von Holzfasern mit einander abwechseln sieht. Der breitere Theil jeder Tracheïde entspricht, seiner Lage nach, der Cambiumzelle, aus der er hervorging, seine beiden schmäleren Enden den zwischen die nächst höher und nächst tiefer gelegenen Holzfasern hineingewachsenen Partien. Der mittlere Theil ist etwas weitlumiger als die Enden, übrigens im Querschnitt immer noch sehr eng. An der oberen und unteren Grenze des mittleren, weitlumigeren Theiles liegen die schräg orientirten Tüpfel. Je nachdem nun der Querschnitt die Holzfasern in dieser oder einer zwischenliegenden Höhe trifft, erscheinen dieselben reichlich getüpfelt oder mit nur sehr spärlichen Tüpfeln versehen. Das Bild dieser Tüpfel ist ein ganz anderes, je nachdem man sie im Querschnitt oder in Längsansichten betrachtet. An Querschnitten erscheinen sie wie ein schmaler, am Grunde etwas erweiterter Kanal; an Längsschnitten wie nach dem Lumen der Holzfaser zu sich erweiternde Trichter (vergl. den nebenstehenden Holzschnitt). Es sind



Radialer Längsschnitt aus dem Holze von Bocoa provacensis Aubl. Theile einer Holzparenchymzelle (*a*) und von Holzfasern (*b*) zeigend. Zelllumen schraffirt. Vergr. 540.

das in einem Worte spaltenförmige Tüpfel, die sich nach dem Lumen der Holzfaser zu erweitern und die ungewohnter Weise parallel zur Längsachse der Holzfaser orientirt sind. Man stellt sich dieselben am besten in dem Bilde von zwei mit dem schmalen Ende an einander stossenden Trichtern vor, die von zwei Seiten her zusammengepresst wurden. Von diesem Zusammengepresstsein sind aber an beiden Trichtern die sich berührenden Enden ausgeschlossen zu denken, daher die kleine, hofähnliche Erweiterung, welche an Querschnitten der Holzfasern die Tüpfel an ihrem Grunde zeigen. Es ist klar, dass eine derartige, in wagerechten Stockwerken ausgebildete Tüpfelung nur einem Substanzaustausch in wagerechter, nicht in senkrechter Richtung dienen kann. Das Aufsteigen des rohen Nahrungssaftes im Stamme kann sie somit nicht fördern, wohl aber dient sie jedenfalls dazu, um von den Markstrahlen aus aufgenommene Substanzen, die zur starken Wandverdickung der Holzfasern verwendet werden sollen, innerhalb dieser auf kürzestem Wege zu verbreiten. Dass dieser kürzeste Weg in derjenigen Ebene liegt, in welcher die Markstrahlen fehlen, ist ohne weiteres ersichtlich. Die zahlreichen, ein- bis zweischichtigen, doch vorwiegend zweischichtigen Markstrahlen gehen, wie schon v. Höhnel angiebt, aus je einer Cambialzelle hervor. Die wagerecht stockwerkartige Lagerung der Cambiumzellen ist es somit, welche den ganzen stockwerkartigen Aufbau auch dieses Holzes bestimmt. Die concentrischen Zonen des Holzparenchyms, sowie das die Gefässe begleitende Parenchym werden durch die Markstrahlen zu einem einheitlichen, plastische Stoffe leitenden System verbunden. In dem Verbande des Holzparenchyms liegen auch durch wiederholte Theilung der Elemente desselben entstandene kurze Zellen, die je einen grossen Einzelkrystall führen. Auch am Querschnitt fallen die Holzparenchymzellen durch ihr relativ weites Lumen auf, welches dasjenige der Holzfasern um das Vielfache übertrifft. Auch die Glieder der getüpfelten Gefässe entsprechen in ihrer Länge den Etagen der Cambiumzellen. Die Weite dieser Gefässe überschreitet nur selten 0,12 mm[1]). Der Quer-

---

1) Vergl. auch Wiesner, Die Rohstoffe des Pflanzenreiches, 1873, p. 559.

schnitt zeigt stellenweise zwei bis drei radial an einander stossende Gefässe. Tracheïden waren nicht aufzufinden.

Das Holzstück, welches ich der Güte des Herrn Dr. W. F. Oliver verdanke, hat einen schwarzen Kern aufzuweisen, in welchem die Elemente der Markstrahlen, des Holzparenchyms und die Gefässe von dunkelbraunen Kernstoffen erfüllt sind.

Gewiss interessant ist der Vergleich des Baues des Holzkörpers von Bocoa provacensis mit demjenigen von Aeschynomene-Arten: wie bei so völlig gleicher Thätigkeit im Cambium, und so völliger Uebereinstimmung der ersten Anlagen, in Folge abweichender weiterer Ausbildung, ein so völlig abweichendes Endergebniss erzielt wird. Nicht bedeutungslos ist es vielleicht, noch im Einzelnen zu constatiren, dass auch schon bei Aeschynomene-Arten die Tüpfel der gestauchten Holzfasern dieselben Stellen wie an den gestreckten Holzfasern von Bocoa einnehmen. In beiden Fällen entsprechen diese Stellen den Enden der Cambiumzelle, welche die Holzfaser erzeugte, nur dass bei Aeschynomene-Arten diese Enden auch dauernd als Enden der gestauchten Holzfaser bestehen bleiben, während sie bei Bocoa zu den langgestreckten Fortsätzen auswachsen.

Die Pterocarpus-Arten, die bei v. Höhnel als zweites Beispiel für stockwerkartigen Aufbau unter den Caesalpinieen angeführt werden[1]), stimmen im Wesen ihres Aufbaues mit Bocoa überein, so dass es sich bei Pterocarpus-Arten ebensowenig als bei Bocoa um faserförmige Tracheïden handeln kann. Was v. Höhnel als solche bezeichnet, sind auch hier echte Holzfasern. Von mehreren Pterocarpus-Arten, welche Herr Dr. Brandis die Güte hatte mir zur Verfügung zu stellen, beschränkte ich mich auf die Untersuchung von Pterocarpus Marsupium Roxb., von welchem mir sowohl Kern- als Splintholz vorlag. Die durch die stockwerkartige Tüpfelung der Holzfasern verursachten helleren Linien treten auch hier in tangentialen Schnittflächen deutlich hervor. Querschnittsansichten zeigen die Gefässe in grösserer Zahl und weitlumiger als bei Bocoa, ausserdem folgen häufiger zwei bis drei Gefässe in radialer Richtung auf einander; die Holzparenchymbänder sind dicht gedrängt und von weit unregelmässigerem, welligem Ver-

1) l. c. p. 34.

lauf. Holzfasern wie Holzparenchym erscheinen weitlumiger. Die Tüpfel der Holzfasern besitzen an Querschnitten dasselbe spaltenförmige Aussehen, nur mit geringerer Erweiterung am Grunde; an Längsschnitten steht auch die trichterförmige Erweiterung, die sie nach dem Zelllumen hin erfahren, hinter derjenigen von Bocoa zurück. Von den Maassen abgesehen, ist die Gestalt der Elemente die nämliche wie bei Bocoa, und die nämlichen Stellen der Holzfasern sind es, welche hier die Tüpfel tragen. In den Holzparenchym-Bändern fehlen auch die durch mehrfache Theilung einzelner Zellen gebildeten Zellreihen nicht, die Krystalle führen. Tracheïden sind hier ebensowenig wie bei Bocoa vertreten. Zwischen den weiten Gefässen finden sich theilweise aber auch recht enge, welche entweder für sich oder in Begleitung eines weiteren Gefässes laufen. Das Holzparenchym des sehr hellbraunen Splintes war dicht erfüllt mit grossen Stärkekörnern; dieselben mögen das Material liefern zu den gelbbraunen Kernstoffen, die in grossen Mengen in den Elementen des dunkelbraunen Kernholzes enthalten sind und auch dessen Membranen deutlich färben. Besonders reich an diesen Kernstoffen zeigt sich auch das Holzparenchym; auch füllen dieselben mehr oder weniger vollständig die Markstrahlen, zum Theil auch die Holzfasern, und überziehen die Gefässwände. Der braune Farbstoff dieser Massen theilt sich dem Wasser, hingegen nicht dem Alcohol mit. Ein ammoniakalischer Auszug wurde nicht viel intensiver als der wässrige, beide fluorescirten stahlblau. Sowohl in Wasser wie in Ammoniak, doch in letzterem wesentlich rascher und vollständiger, werden die braunen Inhaltsmassen aus den Zellen herausgelöst. Dieselben weichen somit in ihrem Verhalten sehr wesentlich von dem gewöhnlichen Schutzgummi ab, worauf ich hier nur hinweisen wollte.

Als unlöslich in Wasser, kaum löslich in Alcohol und nur in beschränktem Maasse mit gelbbrauner Farbe, ohne Fluorescenz, in Ammoniak löslich, erwiesen sich die zum Vergleich herangezogenen Kernstoffe von Bocoa provacensis.

Der Bau des Stammes von Robinia Pseudacacia ist im Grunde genommen von demjenigen der von uns untersuchten Mimoseen nur wenig verschieden, wenn auch das Bild zunächst wesentlich complicirter erscheint. Die Holzfasern sind es, die auch hier die Hauptmasse des secundären Zuwachses im Holz-

körper bilden. Sie fallen durch ihre starke Verdickung und ihre Englumigkeit auf, welche vom Früh- nach dem Spätholz zunimmt. Mit ihrer Englumigkeit wächst auch nach dem Spätholz zu ihre Länge und lässt sich dort annähernd schon aus dem Bilde des Querschnittes berechnen. Denn in einem solchen Querschnitt zeichnen sich die in halber Länge getroffenen Holzfasern durch weiteres Lumen aus und verrathen auch eine mehr oder weniger deutliche radiale Anordnung. Sie sind auseinandergedrängt durch die zwischengewachsenen Enden der tiefer und höher gelegenen Holzfasern, die man als solche an ihrem engeren Lumen erkennen kann. Eine Abzählung der englumigeren und der weitlumigsten Holzfaserquerschnitte giebt, wenn man hierauf die Zahl der ersteren durch diejenige der letzteren dividirt, annähernd an, wie viel Mal die Holzfaser die Grösse der Cambiumzelle, aus der sie hervorging, bei ihrem Wachsthum überschritt. Im Spätholze wachsen die Holzfasern schliesslich wohl um das Fünffache ihrer ursprünglichen Länge aus. Alle diese Holzfasern führen normaler Weise Luft. — Im Frühjahr werden die weitesten Gefässe angelegt und diese stehen auch am engsten zusammen. Weiterhin, wenn den Bedürfnissen der Wasserleitung genügt ist, dominirt die Bildung der Holzfasern; die Gefässe werden englumiger und rücken auseinander. Alsbald beginnen sich zu den weiten Gefässen englumigere zu gesellen, und schliesslich werden nur noch Gruppen englumiger Gefässe erzeugt, die, je nach der Stärke des Jahresringes, mehr oder weniger weit innerhalb der Holzfasermasse auseinandergerückt erscheinen. Die Gefässe werden von Holzparenchym umgeben, wobei zu bemerken ist, dass auch hier die cambiumwärts gekehrte Seite der Gefässe in dieser Umhüllung bevorzugt wird. Der Gefässgruppe gegenüber verhält sich das Holzparenchym ähnlich wie den einzelnen Gefässen, es umhüllt sie als Ganzes, dringt nur ausnahmsweise zwischen die einzelnen Glieder ein. Aehnlich wie bei den zuvor untersuchten Pflanzen, hat das Holzparenchym auch hier die Neigung, sich flügelartig an den Seiten der Gefässe auszubreiten. Solche Flügel können stellenweise auf einander stossen und so zu breiteren tangentialen Bändern verschmelzen. Holzparenchym, das ein solches Verhältniss zu den Gefässen zeigt, bezeichnet Sanio [1]) bekannt-

---

1) Vergleichende Untersuchungen über die Zusammensetzung des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 389.

lich als metatracheales. Das Holzparenchym ist alsdann in tangentialen Binden vertreten, in welche die Gefässe eingebettet sind, oder an welche sie anlehnen. Umgiebt das Holzparenchym die Gefässe ganz oder theilweise, ohne tangentiale Binden zu bilden, so wird es als paratracheales Holzparenchym bezeichnet. Beide Typen der Anordnung gehen in einander über und haben Krah [1]) zur Aufstellung von Untertypen veranlasst. Für mich hat es keinen Zweck, diese Bezeichnungen zu benutzen, da sie doch eine Beschreibung des jedesmaligen Sachverhalts nicht entbehrlich machen.

Ein 21-jähriger kräftiger Ast von 8 cm Durchmesser, den ich untersuchte, zeigte die 7 äusseren Jahresringe gelblich gefärbt, in den 4 folgenden beginnende Bräunung, dann weiter nach innen zu ausgeprägte Braunfärbung, wie sie für das Kernholz hier bekannt. Die Stärke des jährlichen Zuwachses war eine sehr ungleiche, und wo der Jahresring schwach ausfiel, traf die Reduction die Holzfasern. Für die Wasserbahnen muss also vor allem gesorgt werden, und hierauf erst können sich die mechanischen Anforderungen der Festigkeit geltend machen.

Die Holzfasern zeigen hin und wieder noch Inhaltsreste, doch in keinem Falle lebendigen Inhalt, sie führen, wie schon angegeben wurde, Luft; ihre Wände sind mit spaltenförmigen, linksläufigen Tüpfeln versehen. Nach Behandlung mit Jodjodkalium ist auch bei Robinia stellenweise eine Violettfärbung der inneren Verdickungsschicht der Holzfasern zu erzielen. Die Gefässe sind behöft getüpfelt. Auch die engen Complexe der behöft getüpfelten Elemente im Spätholze zeigen ihre Wände mit solchen Tüpfeln dicht besetzt. Sowohl die Complexe der behöft getüpfelten, englumigen Elemente, welche einen Theil der weiteren Gefässe begleiten, als auch die englumigen Gruppen dieser Elemente im Spätholze werden nicht von Tracheïden, sondern von Gefässgliedern gebildet, die sich an ihrer Terminalfläche von je einem Loch durchbohrt zeigen. Diese Durchbohrung ist selbst an den engsten, im Uebrigen ganz tracheïdal entwickelten Gefässgliedern im Spätholz zu constatiren. Es fehlen somit auch dem Holze von Robinia die Trache-

---

1) Ueber die Vertheilung der parenchymatischen Elemente im Xylem und Phloëm der dicotylen Laubbäume, Inaug.-Diss. Berlin 1883.

ïden und können daher nicht ein absolut nothwendiges Glied des wasserleitenden Systems abgeben. Der tracheïdale Abschluss einzelner Terminalwände enger Gefässglieder durch behöfte Tüpfel allein, ist übrigens nach längerem Suchen meist aufzufinden. Die engeren Gefässe der Robinia sind von den weiteren durch Ausbildung feiner tertiärer Schraubenbänder ausgezeichnet. — In der Cambiumgegend stellt man fest, dass die Gefässe sammt ihrer holzparenchymatischen Umkleidung besonders rasch fertiggestellt werden, während das umgebende Gewebe längere Zeit dünnwandig bleibt. Die neu angelegten Gefässe des Frühholzes legen sich den engen Gefässgruppen des Spätholzes an, und so wird für die Verbindung der neuen Wasserbahnen mit den alten sofort gesorgt. Gnentzsch hat bereits auf diese radiale Verbindung des trachealen Systems an den Jahresgrenzen als auf eine allgemeine Erscheinung bei dicotylen Hölzern hingewiesen [1]); wir werden auf dieselbe wiederholt zurückzukommen haben. Weder bei Robinia noch in anderen Fällen konnte ich, ebensowenig wie Gnentzsch [2]), eine offene Verbindung zwischen den trachealen Elementen der aufeinander folgenden Jahresringe, vielmehr nur eine Verbindung durch Hoftüpfel constatiren. — Die Cambiumzellen besitzen bei Robinia nur relativ geringe Länge, und fallen die Holzparenchymzellen dementsprechend kurz aus, ungeachtet sich die Cambiumzelle zur Bildung derselben meist nur zweimal, selbst nur einmal theilt. Ungefächerte Ersatzfasern sind dem Holzparenchym beigemengt und für Robinia und andere Leguminosen auch schon mehrfach beschrieben worden [3]). An der Grenze zwischen dem stärkeführenden Holzparenchym und den Holzfasern finden sich krystallführende Holzparenchymzellen eingeschaltet, besonders kurz, mit je einem Einzelkrystall im Innern. — Die weiteren Gefässe des drittletzten Jahresringes fand ich in dem untersuchten Aste bereits mit Thyllen erfüllt. In den engen, mit Schraubenbändern versehenen Elementen der trachealen Gruppen ist mir hingegen Thyllenbildung nicht vorgekommen.

---

1) Ueber radiale Verbindungen der Gefässe und des Holzparenchyms zwischen aufeinander folgenden Jahresringen dicotyler Laubbäume, Flora 1888, p. 309.

2) l. c. p. 327.

3) De Bary, Vergl. Anat., p. 510.

Das Holzparenchym steht in mannigfacher Verbindung mit den Markstrahlen. Letztere bestehen aus relativ stark verdickten, radial gestreckten Zellen, zwischen welche sonst gleich gestaltete, doch kürzere, eingeschaltet werden, die schon in nächster Nähe des Cambiums je einen Krystall von Calciumoxalat aufnehmen. Auch die holzparenchymatischen Elemente, soweit sie für Krystallaufnahme bestimmt, erhalten dort ihren Einschluss. Wie die tangentialen Längsschnitte durch den Holzkörper lehren, sind die Markstrahlen von Robinia verschieden stark, im Allgemeinen aber alle mehrschichtig. Eine bestimmte mittlere Grösse, etwa vierschichtige Markstrahlen, pflegt vorzuherrschen. Zwischen allen Zellreihen des Markstrahls lassen sich die radial verlaufenden, mit Luft erfüllten Intercellularen verfolgen. An den Flanken des Markstrahls fehlen sie nicht ganz, werden aber vornehmlich in dessen Innerem ausgebildet. Aus den ziemlich stark verdickten Markstrahlzellen führen, wie dies auch sonst zu sein pflegt, wenn die Dicke der Markstrahlzellwände eine bestimmte Grenze überschreitet, Tüpfelkanäle nach den Intercellularen. An diese Luftgänge der Markstrahlen anschliessende Intercellularen folgen auch dem Holzparenchym. Sie können dort zwischen einzelnen Zellreihen bedeutendere Weite erreichen, zwischen anderen ganz fehlen. Im Allgemeinen halten sie sich auch dort mehr an die inneren Zellenzüge in den Parenchymbinden.

Im Herbst führt das ganze parenchymatische Gewebe des Holzkörpers, bis in die sich bräunenden Jahresringe hinein, Stärke. In den sich bräunenden Partieen nimmt die Stärke rasch ab und schwindet bald vollständig. Auch die Thyllen werden in den stärkeführenden Theilen mehr oder weniger stärkehaltig, wie ich das an einem alten, durch Sturm gebrochenen Stamme am 1. October feststellen konnte. Im Frühjahr schwindet die Stärke zunächst aus den dem Cambium benachbarten Partieen, dann auch aus den älteren Holztheilen. Die Parenchyme des Holzes bleiben somit in älteren Stammtheilen bis in das 8. Jahr etwa hinein thätig, während die weiteren Gefässe schon im 3. Jahre mit Thyllen verstopft und ausser Function gesetzt werden. — Innerhalb der sich bräunenden Partieen des Holzkörpers verlieren, wie schon erwähnt, die Parenchyme ihre Stärke, und ihr Inhalt stirbt ab. Er erfährt hierbei eine Bräunung. Die Bräunung der Membranen

im Kernholz ist auch hier auf Infiltrationen mit Stoffen, unter welchen der Gerbstoff die Hauptrolle spielt, zurückzuführen. Während die Elemente des Splintes durch Kaliumdichromat und molybdänsaures Ammon nicht tingirt werden, nehmen die Elemente des Kernholzes in diesen Reagentien rothbraune Färbung an. Auf tangentialen Schnitten gewinnt man die Ueberzeugung, dass diese Infiltration mit Gerbstoff von den Markstrahlen ausgeht.

Der secundäre Siebtheil wird von weiten Siebröhren gebildet, welche, der Regel nach, nur eine Geleitzelle besitzen, die meist aus einer Ecke des Siebröhrengliedes abgeschnitten erscheint. Die Siebröhrenglieder selbst sind kurz, entsprechend der Kürze der Cambiumzellen; die Siebplatten zeigen nur schwache Neigung. Die Geleitzellinitiale theilt sich der Quere nach in zwei bis vier Zellen. Die Geleitzellen der aufeinanderfolgenden Siebröhrenglieder treffen nicht aufeinander, oder brauchen doch nicht aufeinander zu treffen, wohl aber wird ihr Anschluss an das Bastparenchym, oder womöglich gleich an die Markstrahlen erstrebt. Eigenartig verhält sich der Inhalt der fertigen Siebröhrenglieder (Taf. III, Fig. 4). An Alcoholpräparaten ist nämlich in jedem Gliede ein Klumpen stark lichtbrechender Substanz zu sehen, der die übliche Reaction des Siebröhrenschleimes giebt, aber meist in der Mitte des Zellraumes suspendirt erscheint. Die Suspension erfolgt vermittelst eines dünnen Fadens, der von dem Schleimklumpen beiderseits nach den Siebplatten führt, während seines Verlaufs sich meist noch verjüngt, an den Siebplatten angelangt, oft aber etwas erweitert. Liegt der Schleimklumpen einer der beiden Siebplatten an, so entsendet er einen Faden bis zur entgegengesetzten Siebplatte. Der suspendirte Schleimkörper hat annähernd ellipsoidische oder auch mehr oder weniger eckig-polygonale Gestalt, der einer Siebplatte anliegende, die gewohnte Gestalt der „Schlauchköpfe“. Der Schleimklumpen färbt sich braungelb mit Jod; der Faden nimmt dieselbe Färbung jedoch nur äusserst schwach an. Ebenso reagirt der Schleimkörper intensiv in Millon's Reagens, der Faden nur schwach. Die Entwicklungsgeschichte lehrt, dass der Schleimkörper meist in halber Länge des Siebröhrengliedes am protoplasmatischen Wandbelege entsteht. Er hat bei seiner Entstehung meist spindelförmige (Taf. III, Fig. 5 bis 7), selten tonnenförmige (Fig. 10) Gestalt. Sobald der

Schleimkörper eine bestimmte Grösse erreicht hat, wird der Faden sichtbar, der von demselben nach den beiden Siebplatten führt. Auch dieser Faden differenzirt sich an der Innenseite des protoplasmatischen Wandbelegs. Während der nun folgenden Grössenzunahme schwellen die Schleimkörper im Allgemeinen ellipsoidisch an (Fig. 7—9) und rücken sammt ihrem Suspensionsfaden von dem plasmatischen Wandbelege weg. Inzwischen schwindet der Zellkern und nimmt der plasmatische Wandbeleg des Siebröhrengliedes äusserst stark ab. Dieser Wandbeleg contrahirt sich in jungen Siebröhrengliedern, in älteren thut er es nicht mehr und ist daher nicht immer ganz leicht nachzuweisen. Es kommt nicht selten vor, dass mehr als ein Suspensionsfaden von dem Schleimkörper nach einer oder nach beiden Siebplatten führt. Weit seltener entsteht der Schleimkörper an einer Siebplatte. Man findet ihn dort zwar sehr häufig, doch ist das nur Folge der beim Schneiden der Stammstücke sich geltend machenden Einflüsse und der Einwirkung des Alcohols. Dass es sich aber in den suspendirten Schleimkörpern nicht etwa um Artefacte handelt, davon kann man sich leicht an frischem Material überzeugen, in welchem die ziemlich stark das Licht brechenden Schleimkörper, als auch deren Fäden, unschwer zu erkennen sind. Die Schleimmassen schwinden in älteren Siebröhren, während dort gleichzeitig Callusplatten auf den Siebplatten entstehen. Weiterhin werden die Callusplatten resorbirt, während die Siebröhren und Geleitzellen collabiren. — An jeden Siebröhrenstreifen grenzt, sowohl von innen wie von aussen, ein Band stärkeführender Bastparenchymzellen, dann eine Schicht sehr kurzer, Einzelkrystalle führender Zellen, endlich ein zwei- bis dreischichtiger Bastfaserstreifen. Die Beziehung der krystallführenden Zellen zu den Bastfasern ist wieder auffallend. Die Bastfasern erscheinen mit diesen ihren flach anliegenden Krystallzellen auch hier wie gepflastert, ja diese Zellen greifen auch auf die Kanten der Bastfaserbänder über. Im Allgemeinen werden zwei bis drei Bastfaserschichten in einem Jahre gebildet. Der Anfang wird mit einer wesentlich breiteren Siebröhrenschicht gemacht, wodurch die jährlichen Zuwachszonen sich im Bast markiren. Die Bastfaserbänder erreichen mit ihren Kanten vielfach nicht die Markstrahlen; einzelne können auf schmale Stränge reducirt sein. Tangentiale Schnitte lehren, dass diese Bastfaserbänder unge-

achtet dessen ein zusammenhängendes Netzwerk bilden, und so mag ihnen denn hier auch in der That eine mechanische Bedeutung für den Schutz der weichen Basttheile zukommen. Wie unter Umständen die Holzfasern, können hier auch die Bastfasern eine durch Jodjodkalium sich violett färbende „Gallertschicht", als innerste Verdickungsschicht, besitzen, worauf schon Sanio [1]) hingewiesen hat. — Die Markstrahlen der Bastzone zeigen nur eine Art dünnwandiger Elemente. In tangentialen Längsschnitten, in welchen man den Siebröhreninhalt färbte und die Wände der Elemente schwach quellen liess, kann man feststellen, dass die peripherischen Zellen der Markstrahlen durch flache Tüpfel mit dem Bastparenchym communiciren, dass aber auch solche flache Tüpfel aus den Geleitzellen in die Markstrahlzellen führen. Hingegen erscheinen die Wände dieser Markstrahlzellen gegen die Siebröhren ungetüpfelt. Diese Beobachtung bestärkt unsere Vorstellung über die Bedeutung der Geleitzellen, welche direct oder indirect den aus den Siebröhren aufgenommenen Inhalt an die Markstrahlen zu übermitteln haben. — Die Markstrahlen führen hier kein Calciumoxalat, welches im Baste somit auf das kurzgliedrige Bastparenchym beschränkt ist. Die Siebröhren bleiben im Allgemeinen nur ein Jahr lang thätig, sie werden schliesslich so stark zerdrückt, dass sie nur noch als weisse geschichtete Häute in älteren Basttheilen erscheinen. Das gesammte Bastparenchym und die zwischenliegenden Markstrahlen zeigen sich im Herbst mit Stärke erfüllt. An frischen Objecten sind in den Markstrahlen die lufterfüllten radialen Intercellularen, die aus dem Bast durch das Cambium in den Holzkörper führen, leicht zu beobachten. Zahlreiche Luftgänge durchsetzen auch das Bastparenchym, auch sind die Krystallzellen lufthaltig. Der Bast wird etwa erst im zwölften Jahre durch eine Korkschicht abgetrennt. Diese Korkschicht erreicht nur eine geringe Mächtigkeit und wird bald durch eine nächst innere abgelöst. So schliessen aufeinanderfolgende Korklamellen meist kaum mehr als einzelne Jahresbildungen, oft nicht einmal eine ganze Jahresbildung, zwischen sich ein.

---

1) Bot. Ztg. 1863, p. 105.

Es schien mir von Wichtigkeit, auch eine Liane aus der Familie der Leguminosen zu untersuchen und den Bau derselben, der ja ganz besonderen Functionen sich angepasst zeigen musste, vergleichend in Betracht zu ziehen. Wistaria sinensis (Glycine) stand mir zu diesem Zwecke in reichlichen Mengen zur Verfügung.

Wistaria steht im Bau ihres Stammes der Robinia sehr nah, mit Abweichungen, die sich aus der Verschiedenheit der Lebensweise ergeben. So fällt vor Allem im Querschnitt die bedeutende Weite der Gefässe auf, die im Extrem bis 0,2 mm steigen kann, dann die ganz bastfaserähnliche Ausbildung der Holzfasern. Ganz besonders schöne und instructive Bilder erhält man bei Behandlung der Querschnitte mit Chlorzinkjod. Das mit Stärke erfüllte Holzparenchym tritt alsdann dunkelblau gefärbt um die Gefässe hervor; getrennt von diesen, oder auch an deren markwärts gekehrte Seite anschliessend, sieht man mehr oder weniger tangential gedehnte Gruppen engerer trachealer Elemente mit Hoftüpfeln wie die Gefässe, ausserdem auch meist mit Schraubenbändern versehen. Wie bei Robinia stellen sich diese Elemente, trotz ihrer geringen Weite, als Gefässglieder heraus, denn fast alle schliessen mit Terminalwänden aneinander, die zwar geneigt, doch von einem Loche durchbohrt sind. Wie bei Robinia werden diese trachealen Gruppen, wie einzelne Gefässe, von den holzparenchymatischen Elementen gemeinsam umgeben, nur ausnahmsweise dringt ein holzparenchymatisches Band zwischen dieselben ein. Die Holzfasern endlich, in Gruppen zwischen diesen anderen Geweben eingestreut, zeigen eine innere Verdickungsschicht, die ihr Lumen oft fast zum Schwinden verengt und die mit Chlorzinkjodlösung, übrigens auch schon mit Jodjodkalium, eine schön weinrothe Färbung annimmt. Es ist das dieselbe Erscheinung, die wir stellenweise bei Robinia bereits wahrnehmen konnten. Die grössten Gefässe werden auch bei Wistaria im Frühjahr gebildet, weiterhin engere, zuletzt im Sommer fast nur die engen trachealen Elemente. Die Bildung der Holzfasern tritt gegen Robinia sehr zurück; eigentlich sind sie hier innerhalb des Holzkörpers in ähnlichen Gruppen vertheilt, wie sonst die Bastfasern innerhalb der Bastzone. Nur die innersten Jahresringe eines jeden Stammes zeigen die Holzfasern als zusammenhängende Masse ausgebildet, wodurch ein innerer, festerer, axiler Cylinder ent-

steht. Ein solcher fester, centraler Holzcylinder kommt sehr vielen Lianen zu. Er wurde auch neuerdings von Warburg für Caulotretus heterophyllus hervorgehoben [1]) und als „Centralholz“ von dem späteren „Aussenholz“ unterschieden [2]). Ich ziehe vor, die Bezeichnungen axiales und periaxiales Holz für diese beiden, ihrem Baue nach verschiedenen Bestandtheile des Lianenstammes hier vorzuschlagen. Die sehr häufige Ausbildung des axialen Holzes bei Lianen fiel Herrn Dr. Heinrich Schenck auf, als er zahlreiche Lianen aus den verschiedensten Familien in Brasilien sammelte, und erklärt sich die Einrichtung wohl genügend aus der Nothwendigkeit, bei geringem Querschnitt den Stamm möglichst zugfest und biegsam zu gestalten. — Im Gegensatz zu Robinia fällt bei Wistaria auf, wie lange alle ihre Gefässe in Thätigkeit bleiben. Thyllen entstehen in denselben nur äusserst spät. Demgemäss bleiben auch alle parenchymatischeu Elemente des Holzkörpers bis auf das Mark lebendig. So fand ich es beispielsweise selbst in einem 4,5 cm dicken, 19jährigen Stamme. Nur vereinzelte Gefässe waren in den alten Jahresringen verstopft, als wenn es nur darauf angekommen wäre, einzelne Bahnen zu verschliessen. Selbst das Mark zeigte sich noch lebendig; der ganze Holzkörper hatte noch seine ursprüngliche helle Färbung aufzuweisen. In mehreren anderen, zum Theil wesentlich jüngeren Stämmen fand sich hingegen eine grössere oder kleinere braune Mitte vor, innerhalb deren die Gefässe sich sämmtlich verstopft, die parenchymatischen Elemente abgestorben zeigten. Es mag aber dahingestellt bleiben, ob hier die Bildung eines Kerns als normale Erscheinung vorlag. — Bereits Crüger hat es hervorgehoben [3]), dass Gefässe und Parenchym in Schlingpflanzen ihre Lebensthätigkeit bis spät behalten: „das Parenchym seine Vermehrungsfähigkeit, die Gefässe die Eigenschaft Flüssigkeiten zu führen.“ Es ist ja klar, dass bei der geringen Dickenzunahme, dem nur unbedeutenden Durchmesser des Stammes im Verhältniss zu der Laubmasse die er trägt, die Elemente desselben lange functionsfähig bleiben müssen. Der Umstand, dass die Elemente des

1) Ueber Bau und Entwicklung des Holzes von Caulotretus heterophyllus, Bot. Ztg. 1883, Sp. 617.

2) l. c. Sp. 621.

3) Einige Beiträge zur Kenntniss von sogenannten anomalen Holzbildungen des Dicotylenstammes, Bot. Ztg. 1851, Sp. 491.

Stammes bis auf das Mark hin so lange lebendig bleiben, bringt es auch mit sich, dass der Stamm lange biegsam bleibt, wozu in dem speciellen Falle von Wistaria, die bastfaserartige Verdickung der Holzfasern durch unverholzte Membranschichten noch das Ihrige beiträgt. — Zwei als Dalbergien bestimmte, ebenfalls den Leguminosen angehörige Lianen, die Dr. Schenck aus Brasilien in Alcohol mitbrachte, zeigten ebenfalls lebendige Elemente bis zum Mark, ungeachtet der eine Stamm einen Durchmesser von 55 mm aufwies. Aehnlich war auch eine Liane aus der Abtheilung der Mimoseen bei ihrer Fällung bis zur Mitte lebendig gewesen, bei einem Durchmesser von 37 mm. Die dicksten Stammtheile von Lianen, die Dr. Schenck überhaupt in Alcohol mitgebracht hatte und die ich vergleichen konnte, waren eine Menispermee von 90 mm und eine Hippocrateacee von 60 mm breitestem Durchmesser. Beide Lianen waren mit stärkeführenden Elementen bis zur Mitte versehen. Bei einer Euphorbiacee, Fragariopsis scandens St. Hil. von 65 mm Durchmesser, und einer Bignoniacee von 100 mm Durchmesser, waren hingegen die innersten Stammtheile todt. Die betreffende Euphorbiacee zeigte dort auch die sämmtlichen Gefässe mit Thyllen und Schutzgummi verschlossen. Die lebendigen Elemente hörten aber auch in diesen letzten Stämmen erst in geringer Entfernung von der Mitte auf, so dass alle die mir bekannt gewordenen Fälle dafür zeugen, dass der Holzkörper der Lianen sehr lange in Thätigkeit bleibt. Das sollte hier nur angedeutet werden, um bei späteren Untersuchungen Berücksichtigung zu finden.

Zwischen dem Holzparenchym und den Holzfasern findet sich auch bei Wistaria krystallführendes, kurzzelliges Holzparenchym eingeschaltet. Dasselbe ist aber weniger zahlreich als bei Robinia vertreten, und fehlen krystallführende Zellen in den Markstrahlen fast vollständig. Der Bau der letzteren stimmt im Uebrigen mit demjenigen von Robinia überein, nur dass die primären Markstrahlen der Wistaria durch sehr bedeutende Höhe ausgezeichnet sind.

Der lange anhaltenden Thätigkeit des Holzkörpers entspricht ein analoges Verhalten des Bastes. Selbst in den ältesten Wistaria-Stämmen, die ich untersuchen konnte, fand ich noch alle stärkeführenden Elemente des Bastes, bis in die primären Theile hinein, welche hier durch Bildung von Phelloderm, die von

dem peripherischen Phellogen ausgeht, dem Wachsthum folgen, am Leben. Der secundäre Bast weist die nämlichen Elemente wie bei Robinia auf, ausserdem gerbstoffführende Schläuche.

Annähernd übereinstimmend mit Robinia ist auch die Anordnung; es folgen auf einander Siebröhrenbänder, stärkeführendes Bastparenchym, krystallführendes Bastparenchym und Bastfasern. Die Siebröhren enthalten ganz die nämlichen, auch entsprechend suspendirten Schleimkörper wie bei Robinia. Auffallend war in den von mir untersuchten Stammstücken der bedeutende Stärkegehalt der Siebröhren. Die Stärkekörner erschienen mir auch etwas grösser, als man sie sonst in Siebröhren findet, färbten sich auch auffallend dunkel mit Jod, wenn auch, wie gewöhnlich in Siebröhren, in weinrothem Ton. Wie bei Robinia beginnt bei Wistaria die Jahresbildung im Bast mit einer starken Siebröhrenlage. Das stärkeführende Bastparenchym erscheint bei Wistaria an der inneren Seite der Bastfasern vorwiegend ausgebildet. Es wird von denselben nur zum Theil durch krystallführende, hier weniger zahlreich als bei Robinia vertretene Elemente getrennt. Die gerbstoffführenden Bastparenchymzellen bilden mehr oder weniger breite Bänder innerhalb der stärksten Siebröhrenzonen, halten sich im Uebrigen vorwiegend an die Bastfaserbänder, ja, können vereinzelt selbst zwischen die Bastfasern eindringen. Allen Bastfasern kommt hier die mit Jodjodkalium violett sich färbende Gallertschicht zu. Sie stimmen überhaupt im Bau und in der Reaction mit den Holzfasern vollkommen überein. Die Markstrahlen werden auch im Bast von dünnwandigen, radial gestreckten gleichartigen Elementen gebildet.

In Stämmen, die beiläufig 2,5 cm Durchmesser erreicht haben, beginnt im Pericykel die Bildung eines secundären Zuwachsringes, in welchem alsbald, von dem secundären Cambiumringe aus, in der nämlichen Art wie zuvor von dem primären, Holz und Bast erzeugt wird. Dieser Cambiumring zeigt aber in unbestimmten Intervallen Lücken, in welchem somit die Holz- und Bastbildung ausbleibt, und welche sich alsbald, an der Oberfläche des Stammes, als Rinnen markiren. Die vorspringenden Wülste zwischen diesen Rinnen bilden ein zusammenhängendes, longitudinal gestrecktes Netzwerk, das mit dem Alter mehr und mehr vortritt. Dass verschiedene andere Lianen aus der Familie der Leguminosen sich ähnlich verhalten, wird mir

von Dr. Schenck mitgetheilt. Bei verschiedenen derselben führt das localisirte Wachsthum zu flügelartiger Ausbildung, wie sie schon Crüger für Rhynchosia phaseoloides abgebildet hat [1]). In den hervortretenden Rippen wiederholt sich die Bildung neuer Zuwachszonen im Pericykel.

Es liegt eine Arbeit von A. Saupe vor [2]), welche sich speciell die Aufgabe stellte, den anatomischen Bau des Holzes der Leguminosen auf seinen systematischen Werth zu prüfen. In den meisten Leguminosenhölzern finden sich auch nach Saupe nur Gefässe, nicht Tracheïden, vor, doch sollen nicht allen Verwandtschaftsgruppen die Tracheïden fehlen. Unter den von Saupe angeführten Leguminosen, die Tracheïden besitzen sollen, figuriren auch Robinia und Wistaria [3]), welchen beiden, wie wir gesehen haben, die Tracheïden abgehen. Hingegen kann ich in der That bestätigen, dass die allerengsten der behöft getüpfelten und mit Schraubenbändern versehenen Elemente von Caragana arborescens ohne Löcher abschliessen, somit echte Tracheïden sind. Im Uebrigen liegt es nicht in meiner Aufgabe, ganze Familien hier vergleichend zu behandeln, vielmehr nur die für meine Aufgabe wichtigen, prägnanten Beispiele aus denselben auszuwählen, und so verweise ich bezüglich weiterer, die Leguminosen betreffender Angaben auf die Arbeit von Saupe.

So verschieden auch auf den ersten Blick der Bau eines Stammes von Ficus von demjenigen einer Leguminose erscheinen mag, so stimmen doch beide in dem wichtigen Umstande überein, dass ihnen die Tracheïden fehlen. Das veranlasst mich, die Beschreibung von Ficus hier gleich anzuschliessen.

Nach Sanio [4]) wechseln im Holze von Ficus Binden von Holzparenchym und Ersatzfasern mit Binden von gefächertem und ungefächertem Libriform ab. Sanio vertritt die Auffassung, dass das Libriform in keiner engeren Beziehung zum Holzparenchym stehe, und sieht das Verhalten von Ficus

---

1) Bot. Ztg. 1850, Taf. III, Fig. 20, 21.

2) Der anatomische Bau des Holzes der Leguminosen und sein systematischer Werth, Flora 1887, p. 259.

3) l. c. p. 265 und 305.

4) Vergl. Unters. über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 110.

als eine Bestätigung seiner Auffassung an, weil zwischen den Elementen der mit einander abwechselnden, zuvor charakterisirten Binden keine Uebergänge vorkommen. „Wären, meint Sanio, beide Bildungen, die gefächerten Libriformfasern und das Holzparenchym, nur Modificationen desselben Systems, so müssten hier Uebergänge zu finden sein, was nicht der Fall ist. Da hier beide Bildungen, unabhängig von ihrer Stellung im Frühlings- oder Herbstholze, mit einander abwechseln und dabei doch constant ihren Charakter bewahren, so müssen sie auch als verschieden aufgefasst werden.“

Ich bin umgekehrt im Laufe meiner Untersuchungen zu der Ueberzeugung gelangt, dass Holzparenchym und Holzfasern nah verwandte Bildungen darstellen, und vertrete ich die Ansicht, dass die Holzfasern aus dem Holzparenchym hervorgegangen sind. Dass es in diesem oder jenem Falle an Uebergangsformen zwischen dem Holzparenchym und den Holzfasern fehlt, ist nur eine Folge fortgeschrittener Sonderung. Es spielt sich auf dem Gebiete der histologischen Differenzirung eben dasselbe wie auf allen den anderen Gebieten fortschreitender Entwickelung ab, indem homologe Gebilde in dem Maasse von einander schärfer abgesetzt werden, als sie von ihrem gemeinsamen Ursprung sich entfernen. Die vergleichende Morphologie sucht dann diesen gemeinsamen Ursprung aufzudecken, indem sie die Uebergänge näher an der Quelle studirt.

Bei Ficus-Arten sind in der That, wie in so manchem anderen Falle, die Unterschiede in der Ausbildung des holzparenchymatischen- und des Holzfaser-Systems unvermittelt.

Ich untersuchte vornehmlich einen 3 cm dicken Ast von Ficus elastica, der einer kräftigen Pflanze des hiesigen botanischen Gartens entstammte. Die in Betracht kommenden anatomischen Verhältnisse waren in dem Bau dieses Astes so ausgeprägt, als es mir eben nur wünschenswerth erschien. Die Holzparenchymbänder standen den Holzfaserbändern an Dicke bedeutend nach, waren ausserdem unterbrochen. Die Breite der einzelnen holzparenchymatischen Elemente wurde bedeutend von derjenigen der zwischenliegenden Holzfasern überboten, ausserdem erschienen letztere weit stärker verdickt und zeigten an den meisten Stellen des Holzkörpers den grössten Theil ihrer Verdickung als tertiäre Gallertschicht ausgebildet. Diese Gallertschicht wurde hier durch das Messer beim Schneiden

von den äusseren Membrantheilen vielfach abgelöst. Die holzparenchymatischen Elemente erwiesen sich sehr reich an relativ grobkörniger Stärke; auch führte ein Bruchtheil derselben noch je einen grossen Einzelkrystall; feinkörnige Stärke fehlte auch den Holzfasern nicht vollständig; im Verhältniss zu dem Holzparenchym erschien ihr lebendiger Inhalt aber sehr reducirt und konnte vielfach ganz fehlen. Intercellularen, welche in den Holzparenchymbändern leicht zu sehen sind, lassen sich zwischen den Holzfasern nicht nachweisen. Im Längsschnitt durch frisches Holz erweist sich anderseits die ganze Masse der Holzfasern als lufthaltig. An Stelle der flachen, zahlreichen, wenn auch nicht eben grossen Tüpfel, mit welchen die holzparenchymatischen Elemente unter einander communiciren, fanden sich an den Holzfasern nur enge, spaltenförmige, links aufsteigende, meist sehr spärliche Tüpfel vor. Ungetheilt gebliebene Elemente in dem holzparenchymatischen System, die s. g. Ersatzfasern, standen hinter den getheilten sehr an Zahl zurück, waren auch, von den unterbliebenen Quertheilungen abgesehen, von denselben nicht verschieden. — Die Gefässe, deren Durchmesser im Extrem zwischen 0,1 und 0,16 mm schwankte und die sich vorwiegend ca. 0,13 mm weit zeigten, fanden sich, einzeln oder auch zu zwei oder drei vereinigt, annähernd gleichmässig durch das Holz vertheilt. Sie konnten sowohl in den Holzparenchymbändern als auch zwischen den Holzfasern liegen. Bei der relativ geringen Anzahl und der im Verhältniss nicht unbedeutenden Weite der Gefässe, fällt hier ganz besonders der Mangel aller sonstigen wasserleitenden Elemente im Holzkörper auf. Die Gefässe sind nur von Holzparenchym und Holzfasern umgeben. Auch wo das Gefäss in einem aus Holzfasern gebildeten Holztheile liegt, besitzt es holzparenchymatische Belegzellen, die es an einer oder an mehreren Seiten begleiten. Dieselben fallen auch nach Jodbehandlung wenig auf, denn sie sind meist ganz stärkefrei. Mit den holzparenchymatischen Elementen hängen die Gefässe durch zahlreiche, grosse, einseitig behöfte Tüpfel zusammen, welche den betreffenden Wandtheilen ein netzförmig verdicktes Aussehen verleihen; nach engen, inhaltsfreien Holzfasern hin fehlt die Tüpfelung ganz. Nur unter einander sind die Gefässe durch Hoftüpfel verbunden, welche dichtgedrängt die entsprechenden Wände decken. Die kurzen Glieder desselben Gefässes communiciren durch runde

Löcher. An ihren Enden laufen die Gefässe aber in schmälere Glieder aus, die einem anderen Gefäss sich seitlich anlegen. Meist sind auch dort ausser Hoftüpfeln einzelne runde Löcher, stellenweise auch nur Hoftüpfel, nachzuweisen. — Die zahlreichen, in ihrer Grösse ziemlich verschiedenen Markstrahlen werden von Elementen aufgebaut, welche alle dieselbe relativ grosskörnige Stärke wie das Holzparenchym und vereinzelt auch dieselben Krystalle führen. Die an die Gefässe streifenden Elemente der Markstrahlen sind meistens ebenso stärkearm oder stärkefrei wie die an die Gefässe grenzenden Belegzellen des Holzparenchyms. Dieses Verhältniss gilt besonders für wenigschichtige Markstrahlen. In zahlreichen Markstrahl-Zellreihen übersteigt der in der Längsrichtung der Stammachse gelegene Durchmesser den radialen. Solche Markstrahlzellen wären somit als stehende zu bezeichnen, doch sind sie von den anderen weder durch Inhalt, noch Tüpfelung, noch Stärke der Verdickung unterschieden. Man kann hier auch alle Uebergänge zwischen diesen hohen, schmalen und den radial gestreckten, niedrigen Markstrahlzellen constatiren, und zwar durch Vermittelung solcher Elemente, die zwar niedrig, aber zugleich auch schmal sind. Vielfach nehmen die schmalen, hohen Markstrahlzellen den einschichtigen Rand des mehrschichtigen Markstrahles ein. Einschichtige Markstrahlen, die nicht sehr zahlreich sind, werden von schmalen Markstrahlzellen, die aber meist nur an den beiden Rändern durch Höhe auffallen, gebildet. Was das Verhältniss zu den Intercellularen anbetrifft, so werden dieselben an den einschichtigen Markstrahlen so gut wie nicht ausgebildet, und fehlen sie meist auch an den von stehenden Zellen gebildeten einschichtigen Rändern mehrschichtiger Markstrahlen. Wie aber in den mehrschichtigen Markstrahlen eine scharfe Grenze zwischen den stehenden und den liegenden Markstrahlzellen nicht besteht, so fehlt dieselbe auch in dem Verhältniss dieser Zellen zu den Intercellularen. Ja, ausnahmsweise sieht man sogar in mehrschichtigen Markstrahlen einen Tüpfelkanal aus einer stehenden Zelle nach einem Intercellulargang führen. An den Gefässwänden zeigen sich die Markstrahlzellen, ganz wie die Holzparenchymzellen, dicht mit grossen Tüpfeln bedeckt, so dass ihre Wand netzförmig verdickt erscheint; die liegenden Markstrahlzellen verhalten sich hierbei nicht anders wie die stehenden, werden

übrigens an der Gefässwand meist durch Querwände in kürzere Abschnitte zerlegt. Eine scharfe Arbeitstheilung ist bei Ficus elastica in einem Worte zwischen stehenden und liegenden Markstrahlzellen nicht durchgeführt, wenn auch ein Unterschied im Verhalten sich angedeutet findet.

Bei einem Holze, welches nur relativ weite Gefässe als Wasserbahnen führt, war es sicher wichtig, festzustellen, welcher Art der seitliche Zusammenhang dieser Gefässe sei. Das Fehlen einer seitlichen Verbindung unter den Gefässen würde ja hier eine vollständige Isolirung der einzelnen Wasserbahnen bedeuten, da eine andere, weniger in die Augen fallende Verbindung, etwa durch englumige Gefässe oder Tracheïden, ausgeschlossen ist. Es wird oft behauptet [1]), dass die Holzgefässe nicht in seitlicher Verbindung mit einander stehen. So allgemein ausgedrückt trifft diese Behauptung nicht zu. Bei Ficus kann man sich leicht vom Gegentheil überzeugen. Wo freilich ausser Gefässen auch Tracheïden, ja ausser weiten Gefässen auch enge vertreten sind, wird die Verbindung vorwiegend, wenn nicht ausschliesslich nur durch die Tracheïden oder die engen Gefässe hergestellt. Dies erleichtert die nothwendige Isolirung der Wasserbahnen von einander, wenn sich Wassermangel geltend macht und einzelne Bahnen ausser Function gesetzt werden müssen. — Bei Ficus, welche auf ihre relativ weiten Gefässe allein angewiesen ist, biegen diese seitlich aus, um sich unter einander zu vereinigen. Auch Verbindungen in radialen Richtungen lassen sich unschwer nachweisen, stellen sich aber wesentlich seltener ein.

Der Umstand, dass hier nur relativ weite Gefässe für die Wasserleitung zu sorgen haben, liess es auch wünschenswerth erscheinen, deren Länge zu bestimmen. Es hätten ja die Gefässe in diesem Falle besonders kurz sein und dadurch den Tracheïden sich nähern können. Das ist nun nicht der Fall. Die Untersuchung ergab, dass die Länge der Gefässe hier nicht wesentlich geringer als bei manchen anderen Hölzern ist, die neben Gefässen Tracheïden führen. Eine grössere An-

1) So heisst es z. B. bei Janse, „Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze“, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 28: „Aus der Anatomie des Holzes ist bekannt, dass die Gefässe nicht in seitlicher Verbindung mit einander stehen.“

zahl von Gefässen erreicht jedenfalls eine Länge von mehr als 30 cm und vereinzelte Gefässe können selbst 60 cm überschreiten.

Das Holz von Ficus spuria, aus einem Gewächshause des hiesigen botanischen Gartens, zeigte sich demjenigen von Ficus elastica ganz ähnlich, nur hielten sich die Gefässe ganz vorwiegend an die Holzparenchymstreifen.

Dank der Güte des Herrn Dr. D. Brandis konnte ich auch das Holz von Ficus bengalensis, F. religiosa, F. infectoria und F. glomerata in Vergleich ziehen. Ich fand dasselbe in allen wesentlichen Punkten so übereinstimmend mit demjenigen von Ficus elastica gebaut, dass eine Wiederholung der Beschreibung überflüssig wäre. Auch an diesem, dem natürlichen Standorte entstammenden Holze konnte ich Anknüpfungspunkte für die Altersbestimmung nicht finden. Dass die Abwechslung der Holzparenchym- und Holzfaser-Bänder nicht der Jahresringbildung entsprechen kann, zeigt nicht nur die geringe radiale Dicke dieser Bänder, sondern auch ihr nicht eben seltenes Ineinandergreifen. Auch konnte ich an einem im hiesigen botanischen Garten im Freien gewachsenen Stamme von Ficus Carica direct bis je zehn abwechselnde Bänder von Holzparenchym und Holzfasern für einen Jahresring nachweisen. Die äussere Grenze der Jahresringe markirte sich an diesem Stamme durch etwas geringere Weite und durch deutlich radiale Anordnung der Elemente. Das Holz von Ficus Carica erschien relativ sehr dünnwandig und weitlumig, zeigte im Uebrigen dieselbe Abwechselung der constituirenden Theile. Der Stamm hatte wiederholt von Frost gelitten und war im Vorjahr geköpft worden. Demgemäss zeigten sich alle Gefässe, mit Ausnahme derjenigen des letztjährigen Zuwachses, mit Thyllen erfüllt.

In dem relativ nur jungen Holze von Ficus elastica, das ich untersuchen konnte, kamen mir nur ganz vereinzelt Gefässe mit Thyllen vor; hingegen waren Thyllen in allen Gefässen eines Holzstückes von Ficus bengalensis, das jedenfalls einem älteren Stammtheil entnommen war, zu finden. In der Färbung unterschied sich dieses Holzstück nur wenig von einem anderen thyllenfreien, immerhin war der Ton des letzteren mehr gelblich, der des ersteren mehr bräunlich. Zu einer markirten Kernholzfärbung kommt es also bei diesen Hölzern nicht, wenn auch, allem Anschein nach, die älteren Partien des Holzes ausser

Action gesetzt werden und somit physiologisch als Kern aufzufassen sind.

Auch eine in Alcohol aufbewahrte Luftwurzel von Ficus bengalensis aus dem botanischen Garten zu Calcutta, die ich der Güte des Herrn Dr. Brandis verdanke, zeigte im Bau ihres Holzkörpers die nämliche Abwechselung von Holzparenchymbändern und Holzfasern wie das Stammholz. Auch stimmten Anzahl und Vertheilung der Gefässe, sowie der Mangel engerer wasserleitender Elemente zu dem Bau der Stammtheile. Im Verhältniss zum Stammholze von Ficus bengalensis musste bei dieser 2 cm dicken Luftwurzel nur die relativ starke Entwicklung des Holzparenchyms im Verhältniss zu den Holzfasern auffallen. — Ein ganz ähnliches Verhalten in Betreff des Holzparenchyms und der Holzfasern wies auch eine fast 3 cm dicke, in Alcohol eingelegte Luftwurzel einer nicht näher bestimmten Ficus-Art aus Blumenau, die Herr Dr. Schenck die Güte hatte mir mitzutheilen. In dieser Luftwurzel waren aber auch die Holzfasern schwach verdickt, und fiel das Holz schon beim Schneiden durch seine geringe Härte auf. Die Gefässe dieser Luftwurzeln erschienen, im Gegensatz zu denjenigen von Ficus bengalensis, auffallend weit und so wenig zahlreich, dass auf 1 □mm höchstens zwei kamen. Ihr radialer Durchmesser mochte im Querschnitt 0,15, der tangentiale 0,13 mm betragen. Trotz der geringen Zahl und bedeutenden Weite dieser Gefässe fehlte aber auch hier jedes andere wasserleitende Element.

Im Gegensatz zu dieser letzten Luftwurzel zeichnete sich der Stamm von Ficus stipulata, der einem Gewächshaus des hiesigen botanischen Gartens entnommen war, durch seinen Gefässreichthum aus. Auf den □mm mochten hier im Durchschnitt 30 Gefässe fallen. Ihr Durchmesser war zwar bis auf ca. 0,07 mm reducirt, doch auch die übrigen Gewebstheile, bei der geringen Stammdicke, entsprechend eingeschränkt. Im Verhältniss zu den anderen Ficus-Arten darf Ficus stipulata somit entschieden als gefässreich gelten, was sich aus dem Umstande, dass ein oft nur wenige Millimeter dicker Stamm äusserst zahlreiche Blätter zu versorgen hat, unschwer begreifen lässt. Die von mir untersuchten Stammstücke waren sehr stark excentrisch gebaut, und zwar mit Förderung der Lichtseite.

Der Vollständigkeit wegen seien auch hier noch einige

Angaben über den Bast von Ficus hinzugefügt. Der Querschnitt zeigt bei Ficus elastica, ohne deutlich regelmässige Anordnung, Siebröhren nebst engen Geleitzellen, Bastparenchym und Sklerenchymzellen, die auch hier erst jenseits der activen Siebröhrenzone ihre Verdickung erhalten. Erst ausserhalb der activen Siebröhrenzone war Stärke in dem Bastparenchym vertreten, früher schon Krystalle in kürzeren Zellen. Vereinzelte Krystalle führten auch die Markstrahlen, die auch von derselben Stelle an wie das Bastparenchym sich mit Stärke erfüllt zeigten. Eine in der Structur angedeutete Arbeitstheilung ist in den dünnwandigen Markstrahlen des Bastes nicht zu erkennen. In derselben Gegend wie die Krystalle tritt auch Gerbstoff in vereinzelten Zellen oder kurzen Zellreihen des Bastparenchyms und der Rinde auf. Im Baste zerstreut, so wie auch im Marke, sieht man ausserdem die ungegliederten Milchröhren. Ihre Füllung mit Milchsaft beginnt im Baste schon innerhalb der activen Siebröhrenzone, erlangt aber ihren Höhepunkt erst jenseits derselben. — Im Wesen übereinstimmend und nur in den Einzelheiten abweichend, fand ich den Bau des secundären Bastes am Stamme anderer Ficus-Arten, soweit mir gut erhaltene Rinde derselben zur Beobachtung vorlag, und auch in den Luftwurzeln, in welchen mir die relativ frühzeitige Verdickung der Bastfasern aber auffallen musste.

Paul Schulz [1]) hat bereits darauf hingewiesen, dass die Markstrahlen der Salicineen einen eigenartigen Bau zeigen. Er hebt hervor, dass bei der Gattung Salix (fragilis, pentandra) die Markstrahlen von niedrigen, langgestreckten, und von hohen, weit kürzeren Zellen gebildet werden, und dass letztere die Ränder des Markstrahls einnehmen, ausserdem in denselben eingeschaltet vorkommen, ja, die niedrigsten Markstrahlen ganz aufbauen. Paul Schulz fand auch schon, dass die höheren Markstrahlzellen dicht gedrängte, grosse Poren dort zeigen, wo sie an eine Gefässwand grenzen, und dass solche Poren den schmalen Zellen abgehen. An das „Libriform“

1) Das Markstrahlengewebe und seine Beziehungen zu den leitenden Elementen des Holzes, Jahrb. d. kgl. bot. Gartens zu Berlin, Bd. II, 1883, p. 225.

schliessen die Markstrahlzellen mit nur vereinzelten, sehr kleinen Poren, falls solche überhaupt vorhanden, an. Die grossporigen Markstrahlzellen sind stärkefrei, während die übrigen Stärke führen. — In einer Mittheilung, die ich eben noch einschalten kann und die einen „Beitrag zur Kenntniss der Markstrahlen dicotyler Holzgewächse“ bringt [1]), hat andererseits auch Kny eine Salix-Art, nämlich Salix fragilis, als Ausgangspunkt seiner Schilderung gewählt [2]). Als neu, abgesehen von den Einzelheiten, kommt im Verhältniss zu der Schulz'schen Beschreibung hinzu, die Feststellung der Thatsache, dass die stehenden Markstrahlzellen nicht von Intercellularen begleitet werden, und dass nur von den liegenden Markstrahlzellen aus Tüpfel nach den Intercellularen führen.

Die von mir eingehend untersuchte Salix viminalis zeigt im Querschnitt ihrer Holzstränge zahlreiche, relativ weite Gefässe, keine Tracheïden, sehr wenig Holzparenchym, beziehungsweise Ersatzfasern, dagegen viel Holzfasern. Die Gefässe (Taf. III, Fig. 12) stehen einzeln oder zu mehreren, dann in vorwiegend radialen Reihen. Sie sind verhältnissmässig dünnwandig und werden demgemäss, wo sie an einander stossen, auch nur durch dünne, behöft getüpfelte Wände getrennt. Diese Wände zeigen die dicht gedrängten Tüpfel in gegenseitiger Berührung und daher von polygonalem Umriss. Schraubenbänder gehen den Gefässen ab, so dass die Wände, mit welchen sie an Holzfasern grenzen, ganz glatt erscheinen. Auch fehlen Tüpfel nach den Holzfasern zu an diesen Wänden. Unter einander hängen die Holzfasern durch schmale, schräg aufsteigende, wenig zahlreiche Poren zusammen. Das Holzparenchym, beziehungsweise, soweit die Cambiumzellen ungetheilt blieben, die den Holzparenchymzellen durchaus entsprechenden Ersatzfasern, folgen nur in vereinzelten Zellenzügen den Gefässwänden, vornehmlich an deren cambiumwärts gerichteter Seite. Ausserdem bilden Holzparenchymzellen und Ersatzfaserzellen, in Gestalt von mehr oder weniger zusammenhängenden, vorwiegend einschichtigen Bändern, die äussere Grenze der Jahresringe. Die Holzfasern sind relativ dünnwandig und weitlumig und flachen sich nur wenig im Spätholze

---

1) Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1890, p. 176.
2) l. c. p. 178.

ab. Sie zeigen die gewohnte Gestalt und Tüpfelung und führen keinen lebendigen Inhalt, vielmehr Luft. Die verschieden hohen, doch nur ausnahmsweise an einzelnen Stellen mehr als einschichtigen Markstrahlen sind relativ sehr zahlreich vertreten, wodurch die mangelhafte Ausbildung des Holzparenchyms ausgeglichen wird. Die in einer oder in mehreren Reihen des Randes vertretenen, durch ihre grössere Höhe und geringere radiale Länge ausgezeichneten weitporigen Markstrahlzellen verrathen, da sie ihre Tüpfel nur in Contact mit den Gefässen entwickeln, eine enge Beziehung zu den Functionen derselben (Fig. 12 und 13). Es handelt sich bei den genannten Markstrahlzellen übrigens nicht um „unbehöfte Poren", wie das Paul Schulz angiebt [1]), vielmehr um einseitig behöfte, wie das auch richtig von Kny hervorgehoben wird [2]). In besonders typischer Weise lässt sich hier verfolgen, dass nur zwischen den Stockwerken liegender Markstrahlzellen seitlich radiale Intercellularen laufen, während solche Intercellularen zwischen Stockwerken stehender Markstrahlzellen fehlen. Nur ausnahmsweise werden auch zwischen einem Stockwerk liegender und einem solchen stehender Markstrahlzellen Intercellularen ausgebildet. Von den Ecken der liegenden Markstrahlzellen aus führen zahlreiche Tüpfelkanäle nach den Intercellularen, von deren Hohlraum sie nur durch eine relativ dünne Schliesshaut getrennt bleiben. Die liegenden wie die stehenden Markstrahlzellen werden durch zahlreiche Tüpfel an ihren tangential gestellten Terminalwänden verbunden; weit spärlicher sind die Tüpfel, welche die Zellen der verschiedenen Stockwerke verbinden. Nach den Holzfasern zu bilden liegende wie stehende Markstrahlzellen nur spärlich kleine Tüpfel aus; grösser ist die Zahl der nach den Holzparenchymzellen führenden Tüpfel. Die Wand der liegenden Markstrahlzellen ist nach den Gefässen zu tüpfelfrei, während die stehenden Markstrahlzellen durch so zahlreiche weite, halbbehöfte Poren mit den Gefässen verbunden sind, dass ihre Wandverdickung ein netzförmiges Aussehen erhält (Taf. III, Fig. 13). Die stehenden Markstrahlzellen von Salix viminalis werden auch, wo sie den Gefässen anliegen, meist länger, so dass ihr radialer Durchmesser ihre Höhe überschreitet.

1) l. c. p. 225.
2) l. c. p. 180.

Sie können somit nur insoweit noch die Bezeichnung stehender Markstrahlzellen beanspruchen, als sie höher als die liegenden Zellen sind. Den stehenden Markstrahlzellen fehlt während der Vegetationszeit die Stärke, während solche, wie auch schon Paul Schulz richtig angiebt, in den stehenden, die Gefässe nicht berührenden Markstrahlzellen, sowie den liegenden Zellen vertreten ist. Die Annahme von Kny, dass die stehenden Zellen besonders für Speicherung von Stärke eingerichtet sein sollten, kann somit nicht zutreffen [1]). Ihre Bestimmung liegt vielmehr darin, in nähere Beziehung zu den Leitungsbahnen zu treten, Wasser aus denselben zu schöpfen, beziehungsweise auch Inhaltsstoffe an dieselben abzugeben. Andererseits muss ich aber, so wie Kny, auch annehmen, dass die liegenden Zellen das Geschäft der Leitung vornehmlich besorgen, und dass die stehenden Zellen von ihnen aus mit Inhalt versorgt werden. Die bevorzugte Beziehung der liegenden Zellen zu den Intercellularen mag mit der bevorzugten Betheiligung an dem Leitungsgeschäft der Assimilate in Beziehung stehen. Es liegt hier die Arbeitstheilung, die uns schon im Holze von Drimys und von Leguminosen entgegentrat, in noch ausgeprägterem Maasse vor. Die einen Markstrahlzellen dienen vornehmlich der Leitung der Assimilate und der Unterhaltung des Gasaustausches, die anderen stehen vor Allem in Beziehung zu den Wasserbahnen. — Dieselbe Arbeitstheilung wie das Gewebe der Markstrahlen weist hier aber auch, was die Verbindung mit den Gefässen anbetrifft, das Holzparenchym auf, und zwar ebenfalls in weit vollkommenerer Durchführung als bei Albizzia. Dieses verschiedene Verhalten der Holzparenchymzellen fällt schon im Querschnitt auf (Taf. III, Fig. 12). Denn die den Gefässen angrenzenden Holzparenchymzellen sind entweder ohne Stärke und hängen alsdann durch zahlreiche weite Tüpfel mit dem Gefässlumen zusammen, oder sie führen Stärke und sind dann ohne solche Poren. Ersteres ist unten an dem unteren vollständig dargestellten, letzteres unten an dem oberen, unvollständig dargestellten Gefäss unserer Figur zu sehen. Auf tangentialen Schnitten kann man constatiren, dass die grossporigen und stärkefreien, sowie porenfreien stärkeführenden Holzparenchymzellen in derselben fortlaufenden Längsreihe liegen,

1) l. c. p. 186.

so zwar, dass sie einzeln abwechseln, oder auch auf mehrere Zellen der einen Art solche der anderen folgen. — Die verjüngten Enden, mit welchen die Gefässe aneinander schliessen, zeigen sich mit behöften Tüpfeln dicht besetzt und sind ausserdem für gewöhnlich noch von einem Loch durchbohrt. Man braucht hier aber meist nicht lange zu suchen, um Anschlüsse zu finden, die nur Hoftüpfel, keine Löcher, aufweisen. Daraus geht hervor, dass auch hier die Gefässbahnen nicht unbegrenzt fortlaufen, vielmehr durch behöft getüpfelte Scheidewände stellenweise unterbrochen sind. — Stärke war in dem ca. 30 cm dicken Stamme, der das Untersuchungmaterial lieferte, bis in den siebenten Jahresring, von aussen gerechnet, zu verfolgen. Sie nahm vom dritten Jahre an merklich ab, um im Holzparenchym wesentlich früher als in den Markstrahlen aufzuhören. Mit beginnendem Schwinden der Stärke stellt sich eine Bräunung des Holzkörpers ein und wird sehr ausgeprägt dort, wo dieser Holzkörper nur noch todte Elemente enthält. Die Gefässe führen alsdann Thyllen und Schutzgummi.

Auf den Zuwachs im Basttheil will ich nur kurz eingehen. Derselbe hat auch bei Salix Siebröhren, Geleitzellen, Bastparenchym und Sklerenchymfasern aufzuweisen. Die Geleitzellen besitzen im Allgemeinen die Breite der Siebröhren, und beide Elemente folgen dann radial auf einander. Die entleerten, flachgedrückten Geleitzellen zeigen auf Längsschnitten ganz die nämlichen stark lichtbrechenden eingefalteten Querwände, wie wir sie in den als Geleitzellen fungirenden Bastparenchymzellen der Coniferen fanden. Nicht alle Geleitzellen werden übrigens zerdrückt, so dass vielfach in die Reihen der zerdrückten, unzerdrückte eingeschaltet erscheinen. Die Siebröhren behalten überhaupt, auch nach der Entleerung, ihr ursprüngliches Lumen. Das Bastparenchym wird in den älteren Rindentheilen zum Theil gerbstoffhaltig. Die Sklerenchymfaserbänder sind stellenweise nur schmal und können in radialer Richtung ziemlich weit auseinanderstehen. Stellenweise sind sie näher aneinandergerückt und bilden fast zusammenhängende Massen. Auch hier werden diese Bastfasern von den kurzen, krystallführenden Bastparenchymzellen begleitet. Die Verdickung der Bastfasern, sowie die Krystallbildung erfolgt schon in nächster Nähe des Cambiums. — Auch innerhalb der Markstrahlen des Bastes bleiben diejenigen Zellreihen des Randes, welche im

Holzkörper die grossen Poren führen, durch grössere Höhe ausgezeichnet. Auch stellt man fest, dass im Baste die Intercellularen denselben Zellreihen wie im Holzkörper folgen, ein Theil der Zellreihen somit ohne begleitende Intercellularen bleibt. In dem Bau und in dem Inhalt der Zellen der einzelnen Zellreihen bemerkt man kaum Unterschiede und kann constatiren, dass alle Zellreihen gleich lange ihren lebendigen Inhalt behalten. Andererseits kann man bei eingehender Untersuchung feststellen, dass die Geleitzellen der Siebröhren durch flache Tüpfel mit den Markstrahlzellen communiciren. Diese Communication ist nicht auf die stehenden Markstrahlzellen beschränkt, so dass eine Arbeitstheilung solcher Art, dass etwa nur die stehenden Zellen der Eiweissleitung dienen sollten, nicht gegeben ist. Eine solche Arbeitstheilung ist mir auch sonst nicht begegnet. Auch würde sie ja wenig zu dem Umstande passen, dass in den Markstrahlzellen des Holzkörpers die liegenden Markstrahlzellen so viel besser für das Leitungsgeschäft ausgerüstet erscheinen. Diese liegenden Zellen dürften dort somit ebenso die Kohlehydrate wie die Eiweisskörper führen und an die stehenden Markstrahlzellen übermitteln. Es hängen dann die Markstrahlzellen im Baste durch reichliche Tüpfel auch mit dem Bastparenchym zusammen, so dass die Verbindung mit den Geleitzellen jene mit dem Bastparenchym nicht hindert.

Der Stamm von Populus divaricata nähert sich in seinem Bau so sehr der untersuchten Salix-Art, dass ich nur einige Einzelheiten hier zu berühren habe. So fand ich die weitporigen, stärkefreien Markstrahlzellen im Holzkörper von Populus in der Höhe von den porenfreien, stärkeführenden kaum verschieden, wohl aber, wie bei Salix, kürzer. Auch bei Populus folgten nur den längeren, stärkeführenden Markstrahlzellreihen die Intercellularen [1]). — Noch auffallender als bei Salix sind die Tüpfel, die hier aus den etwas stärker verdickten Zellen nach den Intercellularen führen. Die Markstrahlen von Populus divaricata zeigten sich durchschnittlich höher als diejenigen von Salix viminalis. Im Holzparenchym von Populus divaricata fehlen die weitporigen Elemente. — Der Bast weist ausser

1) Vergl. auch Kny, l. c. p. 182, 184.

den einfachen Calciumoxalatkrystallen, die in kurzen Zellen den Sklerenchymfasern folgen, auch noch zahlreiche Drusen von Calciumoxalat auf, auch in kurzen Zellen, die in Fäden dem Bastparenchym eingereiht sind. — Bei Populus nigra, tremula, alba sollen nach Paul Schulz [1]), alle Markstrahlzellen, soweit sie ein Gefäss streifen, mit den weiten Poren versehen sein. Populus divaricata würde sich von den genannten Arten somit unterscheiden und mit Salix darin übereinstimmen, dass nur einer bis mehreren Zellreihen an den Rändern des Markstrahls die Fähigkeit zukommt, grossporige Zellen auszubilden.

Mit dem Holzkörper der untersuchten Salix- und Populus-Art stimmt der von Aesculus Hippocastanum darin überein, dass seine Gefässe im ganzen Jahresring ziemlich gleich häufig sind und auch nicht wesentlich an Weite abnehmen. Wie bei Populus divaricata bilden die Gefässe auch, meist zu mehreren aufeinander folgend, radiale Reihen. Doch ist die Weite der Gefässe wesentlich geringer. Die Gefässwände sind mit sehr zarten Schraubenbändern versehen, doch nur an denjenigen Flächen, mit welchen sie an Holzfasern grenzen [2]). Diejenigen Wandtheile, mit welchen die Gefässe aneinander stossen, sind nur mit Hoftüpfeln besetzt, die sich auch hier gegenseitig berühren und dadurch sechseckige Contouren erhalten. Auch an denjenigen Wandstellen, welchen die Holzparenchymzellen anliegen, fehlt das Schraubenband, und erscheinen auch diese Stellen dicht mit quergestreckten, einseitig behöften Tüpfeln besetzt. Da die Gefässe auch hier vorwiegend in radialer Richtung aneinander stossen, so zeigen die tangentialen Längsschnitte vornehmlich getüpfelte, die radialen Längsschnitte glatte, mit den Schraubenbändern versehene Gefässwände. Im Wesentlichen übereinstimmend mit Salix ist die Vertheilung. die Stärke der Verdickung und die Tüpfelung der Holzfasern, sowie das Verhältniss der Tüpfelung verschiedener an einander grenzender Elemente. Den Salicineen genähert ist auch der Bau der Markstrahlen, welche in den randständigen Zellreihen meist weitporige Elemente führen. Die weiten Poren werden auch hier nur in

1) l. c. p. 226.

2) Vergl. auch Sanio, Vergl. Unters. über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 109.

Contact mit den Gefässen ausgebildet, und erscheinen die weitporigen Zellen stärkeärmer, wenn nicht stärkefrei. Diese Poren sind hier quergestreckt, von der Breite der ganzen Markstrahlzelle, oder in mehrere, neben einander liegende Poren zerlegt. Die Markstrahlen sind durchweg einschichtig und schwanken nicht sehr bedeutend in ihrer Höhe. Die Arbeitstheilung im Markstrahl ist aber nicht so scharf durchgeführt wie bei den Salicineen, doch fehlen auch hier, der Regel nach, die Intercellularen an den randständigen Zellreihen [1]). — Wie den Salicineen gehen auch Aesculus die Tracheïden ab, indem auch die engsten unter den vorhandenen trachealen Elementen sich an den Enden perforirt zeigen und nur vereinzelte unperforirte Terminalflächen aufweisen. Das Holzparenchym, beziehungsweise auch, ganz wie bei Salix, ungetheilt gebliebene holzparenchymatische Elemente, d. h. Ersatzfasern, bilden ganz vorwiegend nur einreihige Zellfäden an der cambiumwärts gerichteten Seite der Gefässe, und dementsprechend sind die Markstrahlen sehr zahlreich entwickelt. Die Jahresgrenze schliesst auch hier mit einer ein- bis zweischichtigen Lage von Holzparenchym ab, die so gut wie ausnahmslos nur von trachealen Elementen durchbrochen wird.

Der Bau des Bastes steht demjenigen der Salicineen ziemlich nah. Eine Arbeitstheilung in den Markstrahlen fällt nicht auf, wohl aber die Tendenz, die Geleitzellen an den Ecken der Siebröhren so anzubringen, dass sie leicht in Berührung mit Markstrahlen kommen können. Die Verdickung der Sklerenchymfasern erfolgt in einiger Entfernung vom Cambium, die Calciumoxalat-Ablagerung etwas früher, rückt aber hier nicht bis an das Cambium heran. Die Krystalle erreichen auffallende Grösse. Stellenweise findet im alten Bast auch die sklerenchymatische Verdickung gestreckter Parenchymzellen statt.

Ein über 100-jähriger Stamm von 50 cm Durchmesser, den ich zu untersuchen Gelegenheit hatte, und der am 7. Mai 1886 gefällt worden war, führte Stärke 10 cm weit vom Cambium nach innen. Die Stärke füllte die Markstrahlen und das Holzparenchym zunächst völlig aus, um von der Hälfte genannter Entfernung an abzunehmen. Das Kernholz zeigte die Gefässe mit Schutzgummi verstopft. Auffallend war bei so bedeutendem Stärke-

---

1) Vergl. auch Kny, l. c. p. 181.

reichthum des Holzes das vollständige Fehlen der Stärke innerhalb der Rinde. Der Baum hatte, als er gefällt wurde, bereits ausgetrieben.

Der Holzkörper der Ahorn-Arten fällt durch die relativ geringe Anzahl von Gefässen, die ziemlich gleichmässig über die Jahresringe vertheilt sind, und durch das bedeutende Vorwalten der Holzfasern im Querschnitt auf. Die eingehende Untersuchung von Acer platanoides ergab Resultate, die im Wesentlichen auch für die anderen Ahorn-Arten gelten. Ein namhafter Theil der Holzfasern führt Stärke. Dieser stärkeführende Theil ist aber nur durch seinen Inhalt, sonst weder durch die Art der Verdickung noch der Tüpfelung von dem anderen, luftführenden, plasmafreien verschieden. Dieser Fall zeigt deutlich, dass die von de Bary [1]) vorgeschlagene Sonderung der Holzfasern in Faserzellen und in Holzfasern, je nachdem sie lebendigen Inhalt führen oder nicht, sich nicht festhalten lässt; hingegen würde es sich empfehlen, zwischen lebendigen und todten Holzfasern zu unterscheiden. Die stärkeführenden Holzfasern halten sich hier im Frühholze vorwiegend an die Gefässe, bilden ausserdem die Jahresgrenze, insofern als die letzterzeugten, aus abgeflachten Elementen bestehenden Schichten des Spätholzes fast durchweg ihren lebendigen Inhalt behalten. Diese letzten, abgeflachten, stärker verdickten Holzfasern sind etwas kürzer und poröser, weichen im Uebrigen nicht von der Gestalt der anderen ab und führen ebenso nur einfache, spaltenförmige, schräg aufsteigende Tüpfel. Die Tüpfelung hält sich bei ihnen an die radial orientirten Wände, so dass tangentiale Längsschnitte fast glatte Holzfaserwände zeigen. — Holzparenchym ist relativ nur spärlich im Anschluss an die Gefässe und zwischen den abgeflachten Elementen der Jahresgrenze vertreten. Die Holzparenchymzellen zeigen sich durch zahlreiche, einseitig behöfte Tüpfel mit den Gefässen verbunden, während die stärkeführenden Holzfasern entweder gar keine, oder nur spärliche, spaltenförmige Tüpfel nach der Gefässwand entsenden. Dem Holzparenchym finden sich stellenweise, besonders an der Jahresgrenze, kurze krystallführende Zellenzüge eingeschaltet. Bei

1) Vergl. Anat., p. 499.

einem Mitte Juni untersuchten Holze musste es mir auffallen, dass die Holzparenchymzellen stärkefrei waren, während die mit Inhalt versehenen Holzfasern reichlich Stärke führten. Entsprechend dem Umstande, dass unter den derselben Cambiumzelle entstammenden Holzparenchymzellen sich einzelne, vorwiegend terminale, wie Holzfasern verhalten, und keine Tüpfel nach den Gefässen entsenden, zeigen sie sich jetzt auch mit Stärke erfüllt. Die mit den Gefässen communicirenden Elemente verlieren somit auch bei Salix leichter ihre Stärke als die gegen dieselben abgeschlossenen. — An Querschnitten fällt es auf, dass in gefässfreien Partieen der Jahresringe die Holzfasern etwas dünnwandiger und weitlumiger sind. Um die Gefässe herum erhalten die Holzfasern etwas dickere Wände, und diese stärkere Verdickung hält bis auf eine gewisse Entfernung von denselben an. — Die Gefässwände sind überall dort, wo sie einer todten oder lebendigen Holzfaser, oder einer getüpfelten Holzparenchymzelle anliegen, mit Schraubenbändern versehen [1]). Diese Bänder fehlen an den getüpfelten Flächen, welche die Gefässe unter einander und mit den porösen Holzparenchymzellen verbinden. Diese Flächen sind ebenso dicht getüpfelt wie bei den Salicineen und bei Aesculus und zeigen die nämliche sechseckige Felderung. Die Gefässe besitzen hier nur geringe Weite, die im Mittel um 0,035 mm schwankt; dies erscheint um so bemerkenswerther, als auch die Zahl der Gefässe an sich gering ist. Tracheïden fehlen dem Holze von Acer nicht ganz, sind aber wenig zahlreich und auf das Spätholz beschränkt. Schon an Querschnitten fällt es auf, dass stellenweise das Spätholz von behöft getüpfelten Elementen, welche ihre Hoftüpfel an den tangentialen Wänden tragen, durchsetzt wird. Diese Elemente können bis zur Fünfzahl etwa radial aufeinander folgen und nehmen nach aussen zu an Weite ab. Sie treffen vielfach an der Jahresgrenze auf Gefässe des nächstjährigen Frühholzes und dienen augenscheinlich dazu, die Verbindung mit demselben zu unterhalten. Auf radialen Längsschnitten stellt man fest, dass mit abnehmender Weite das faserähnliche Aussehen dieser behöft getüpfelten Elemente wächst, und dass sie von den Holzfasern sich schliesslich nur noch durch ihre tangential orientirten Hoftüpfel und die rings-

1) Vergl. auch Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 109.

umlaufenden Schraubenbänder auszeichnen. Nur in den äussersten Zellschichten des Jahresringes ist ein tracheïdaler Abschluss an diesen Elementen zu constatiren, im Uebrigen sind sie an ihren Enden schräg perforirt. — Die sehr verschiedene Breite der Markstrahlen fällt schon im Querschnitt auf, und man stellt zugleich fest, dass die mehrschichtigen Markstrahlen vorherrschen. Der tangentiale Längsschnitt führt uns alle Uebergänge von schmalen, niedrigen, einschichtigen, bis zu den breitesten mehrschichtigen Markstrahlen vor, die bis etwa 6 Zellen breit und nach annähernder Schätzung bis 40 Zellen hoch werden können. Bei der relativ geringen Zahl der Gefässe und der nicht unbedeutenden Zahl der Markstrahlen lässt sich leicht feststellen, dass jedes einzelne Gefäss mit Markstrahlen vielfach in Berührung kommen muss. Die an die Gefässe grenzenden Markstrahlzellen haben sich nach der Verdickung derselben zu richten, wobei auch hier die Tendenz herrscht, eine nähere Verbindung der Gefässe mit den Markstrahlen nur aus den Rändern der letzteren herzustellen. Es sind meist nur Zellen der randständigen Reihen, welche sich somit an der Gefässwand mit weiten, grossen Poren dicht bedeckt zeigen und alsdann auch meist durch Stärkemangel auszeichnen. Diese Randzellreihen des Markstrahls sind im Uebrigen weder durch grössere Höhe noch durch geringere Länge von den inneren Zellreihen ausgezeichnet. Auch brauchen die Intercellularen an diesen Randzellreihen nicht zu fehlen, wenn sie auch häufig thatsächlich nicht entwickelt werden. So gehen auch meist, doch nicht immer, die Intercellularen einschichtigen Markstrahlen ab, die trotzdem, wie die übrigen, Stärke führen. Die Stärkekörner sind in diesen Markstrahlen auch ebenso gross und zahlreich wie in anderen, so dass die directe Verbindung mit den Intercellularen nicht als unbedingtes Erforderniss der Stärkeleitung erscheinen kann. — Eine Arbeitstheilung zwischen den verschiedenen Elementen der Markstrahlen ist nach alledem bei Acer wohl angedeutet, aber nicht scharf durchgeführt. Wie in anderen Fällen, wo stärker verdickte Markstrahlzellen vorliegen, führen auch hier zahlreiche Tüpfelkanäle aus denselben nach den Zwischenzellräumen. — Dass die stärkeführenden Holzfasern, Holzparenchymzellen und Markstrahlen ein zusammenhängendes System im Holzkörper bilden, und dass keine stärkeführende Holzfaser, auch wo sie, dem Querschnittsbilde

nach, isolirt erscheint, wirklich von allen anderen lebendigen Elementen getrennt ist, braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden.

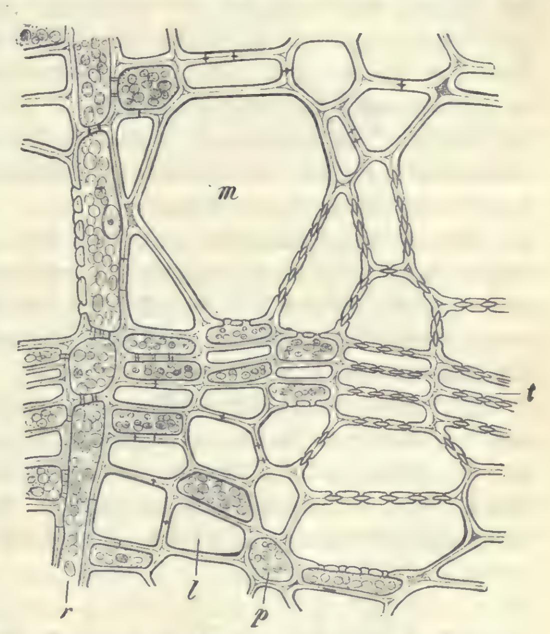
Der Bast von Acer platanoides zeigt mit einander abwechselnde breitere Binden von Siebröhren nebst Geleitzellen und schmälere Binden von Bastparenchym. Ausserdem werden von Zeit zu Zeit starke Binden von Bastfasern eingeschaltet. Letztere erscheinen, vornehmlich an ihrer Aussenseite, von krystallführenden Zellen dicht bepflastert. Ausserdem schliesst auch das Bastparenchym Krystallzellen ein. In altem Baste wird stellenweise Bastparenchym in Steinzellen verwandelt. Die Markstrahlen zeigen im Bast keine merklichen Verschiedenheiten in der Ausbildung ihrer Elemente.

Ein starker, 26-jähriger, 5,5 cm dicker Ast von Acer platanoides, den ich auf seinen Gehalt an lebendigen Elementen prüfte, hatte solche bis zum Marke hin aufzuweisen, doch waren die Gefässe der 9 innersten Jahresringe bereits mit Schutzgummi verstopft. Ein alter Stamm von Acer Pseudoplatanus, der einen Durchmesser von 50 cm erreicht hatte, aber bereits etwas abständig geworden war, zeigte, Mitte November gefällt, stärkeführende Elemente bis zum 30. Jahresringe. Vom 12. Jahresringe an begann die Füllung der Gefässe mit Wundgummi. Die Dicke des Splints betrug ca. 35 mm.

Dem Holzkörper von Tilia europaea kommen ausser den anderen Elementen auch Tracheïden in grösserer Anzahl zu. Ueber die gegenseitige Vertheilung der Elemente, wie sie der Holzschnitt auf Seite 219 vergegenwärtigen soll, geben uns am schnellsten solche Zweige Aufschluss, die eine Zeitlang in wässeriger Eosinlösung standen und in derselben transpirirt haben. Man stellt dann auf den ersten Blick gleich fest, dass die Gefässe und Tracheïden in radialen, mehr oder weniger continuirlichen Platten angeordnet sind. Diese Platten wechseln mit solchen aus Holzfasern ab. Im Frühjahr, bei Beginn der neuen Jahresbildung, werden die trachealen Platten relativ breit angelegt, so dass sie nur durch schmale Holzfaserplatten getrennt erscheinen. Weiterhin nehmen sie an Breite ab. Zu Beginn des neuen Zuwachses werden in der Platte fast ausschliesslich nur Gefässe erzeugt, am Schluss nur abgeflachte Tracheïden.

An diese setzen dann im nächsten Jahre die neuen Gefässe an. Die trachealen Platten werden durch die Holzfasern vielfach in einzelne Stränge zerlegt.

Für den Holzkörper der Tilia europaea werden in der Zusammenstellung bei de Bary [1]): Gefässe, Tracheïden, Holzfasern, Strangparenchym und Ersatzfasern angegeben. Die Gefässe und Tracheïden sind in Hinsicht der Gestalt durch alle Zwischenglieder verbunden. Als entscheidend für die Bezeichnung bleibt nur das Vorhandensein oder das Fehlen von Löchern in der Terminalwand. Nicht selten ist ein tracheïdal gestaltetes Element an dem einen Ende durch Hoftüpfel verschlossen, an dem anderen Ende durchlöchert; eine Erscheinung, welche übrigens ja auch für die Terminalglieder einzelner Gefässe gilt. — Das Holzparenchym hat die Neigung, sich in tangentiale Bänder auszubreiten, die zahlreichen Anschluss an die Markstrahlen zeigen. — Die Hauptmasse des Holzkörpers wird von den Holzfasern gebildet. Dieselben sind ohne plasmatischen Inhalt, führen vielmehr Luft. Sie büssen gleichzeitig mit den Gefässen und Tracheïden ihren lebendigen Inhalt schon in der Nähe des Cambiums ein. Da sieht man ihr Cytoplasma und ihren Zellkern körnig werden, letzteren in einzelne Körnchen zerfallen und dann verschwinden. Die Holzfasern sind mit den



Querschnitt durch das Holz von Tilia parvifolia (Alcohol-Material), *m* ein weites Tüpfelgefäss, *t* Tracheïden, *l* Holzfasern, *p* Holzparenchym, *r* Markstrahl. Vergrösserung 540.

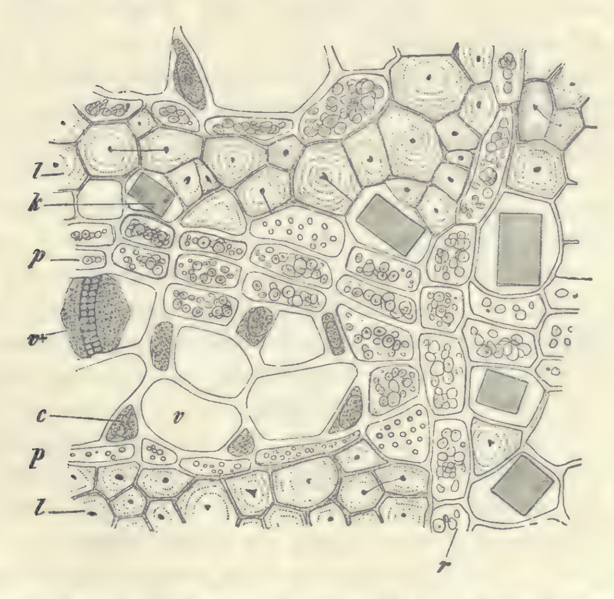
1) Vergl. Anat., p. 510.

charakteristischen, spaltenförmigen, schräg aufsteigenden Tüpfeln versehen. Wie in anderen Fällen, verbinden auch hier doppelt behöfte, mit Torus auf der Schliesshaut versehene Tüpfel die Gefässe unter einander und mit den Tracheïden. Zwischen diesen Elementen und den Holzparenchym- sowie Markstrahlzellen sind zahlreiche, einseitig behöfte Tüpfel ohne Torus auf der Schliesshaut vorhanden. Zwischen diesen parenchymatischen Elementen und der Holzfaser stehen die spaltenförmigen, einfachen Tüpfel in grosser Zahl. Fast jede Tüpfelung fehlt an den die wasserleitenden Elemente und die Holzfasern trennenden Wänden, so dass solche Stellen ganz tüpfelfrei erscheinen, respective nur ganz vereinzelte punktförmige Tüpfel und nur tertiäre Schraubenbänder aufweisen. Da es die radialen Wände der Gefässe und Tracheïden sind, die vornehmlich an die Holzfasern stossen, so bieten radiale Längsschnitte der Hauptsache nach glatte, nur mit Schraubenband versehene Gefäss- und Tracheïdenwände, während sich auf tangentialen Längsschnitten die meisten dieser Wände getüpfelt zeigen.

Die ein- bis mehrschichtigen, sehr verschieden hohen Markstrahlen der Linde werden von Elementen gebildet, deren Höhe an den Rändern der Markstrahlen vielfach zunimmt. Aus höheren Zellen können die einschichtigen Markstrahlen vielfach allein gebildet sein. Die höheren Zellen stehen auch hier den kürzeren an Länge nach. Die Zellenzüge an den Rändern mehrschichtiger Markstrahlen hängen durch zahlreiche grosse Tüpfel mit den Gefässen zusammen. Dasselbe thun die Elemente einschichtiger Markstrahlen oft in der ganzen Höhe des Markstrahls. Die Zellenzüge an den Seiten mehrschichtiger Markstrahlen bleiben, auch wenn sie in Contact mit der Gefässwandung stehen, ungetüpfelt. Es kehrt hier wieder, dass in stärkehaltigen Markstrahlen die mit den Gefässen durch Tüpfel verbundenen Zellen stärkearm oder stärkefrei werden. Die Intercellularen halten sich an das Innere der mehrschichtigen Markstrahlen und fehlen an deren Seiten, so wie an den einschichtigen Markstrahlen, fast vollständig. Diese häufig wiederkehrende Tendenz, die radialen Intercellularen in das Innere der Markstrahlen zu verlegen, erklärt sich wohl aus dem Gewinn, den der nothwendige Abschluss der trachealen Bahnen gegen Luft daraus zieht. Alsdann braucht an diesen trachealen Bahnen selbst nicht Vorsorge getroffen zu werden, um durch

stärkere Verdickung der Wände oder dergleichen den Abschluss zu bewirken. Die nach den Intercellularen von den Markstrahlzellen führenden zahlreichen Kanäle sind in den mehrschichtigen Markstrahlen nicht schwer zu sehen. Somit liegt uns auch bei der Linde eine Arbeitstheilung innerhalb der Markstrahlen vor, doch ohne scharfe Sonderung, denn eine Grenze zwischen den der Leitung der Assimilate vornehmlich dienenden und den die Beziehung zu den Wasserbahnen hauptsächlich unterhaltenden Markstrahlzellreihen ist nicht zu ziehen. — In breiteren Markstrahlen werden einzelne Zellreihen lufthaltig [1]).

In den keilförmig nach aussen zugeschärften Siebtheilen des secundären Zuwachses [2]) wechseln bekanntlich tangentiale



Querschnitt durch den Bast von Tilia parvifolia (Alcohol-Material), *v* Siebröhren, bei *v eine Siebplatte getroffen, *c* Geleitzelle, *p* Bastparenchym, *k* krystallführende Zelle, *l* Bastfasern, *r* Markstrahl. Vergr. 540.**

Bänder dickwandiger und dünnwandiger Elemente ab. (Vergl. den obenstehenden Holzschnitt.) Das gewöhnliche Verhältniss ist, dass auf ein tangentiales Band der dickwandigen Bastfasern

1) Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 127.

2) Vergl. de Bary, l. c. p. 538 und Fig. 212; v. Janczewski, l. c. p. 309.

zuerst einige Schichten von Bastparenchym, dann eine Schicht von Siebröhren und Geleitzellen, dann noch eine mehr oder weniger vollständige Bastparenchymschicht folgt und hierauf wieder ein Band von Bastfasern. Die an die Innenfläche der Bastfaserbänder stossende Bastparenchymschicht ist durch bedeutendere radiale Weite ihrer Elemente ausgezeichnet, und diese führen statt der Stärke grosse Einzelkrystalle. Sie stossen mit porösen, ziemlich stark verdickten Querwänden auf einander. Die Ausbildung der Krystalle, wie die Verdickung der Bastfasern erfolgt bereits in nächster Nähe des Cambiums. Die stärkeführenden wie die krystallführenden Bastparenchymzellen gehen durch wiederholte quere Theilung aus den Cambiumzellen hervor. Der plasmatische Inhalt der krystallführenden Zellen ist äusserst reducirt, er wird nicht reichlicher in den zahlreichen Fällen, wo der Krystall nicht zur Ausbildung kam. Es kann auch mehr als ein Krystall in einer Zelle liegen. — Die Siebröhrenbänder sind eine bis mehrere Schichten stark, einzelne Siebröhren dringen auch wohl zwischen die Elemente des Bastparenchyms vor. Die Mehrzahl der Siebröhren ist an der grösseren Weite, sonst auch an den weissen Wandungen unschwer zu erkennen, und nicht minder fallen in die Augen die kleinen, von den Siebröhren abgegrenzten, mit reichem, plasmatischem Inhalt erfüllten Geleitzellen. Es kommt meist nur eine Geleitzelle einer Siebröhre zu, doch kann deren Zahl auch zwei, selten mehr betragen. Wie v. Janczewski bereits richtig angegeben hat [1]), besitzen die Geleitzellen hier die nämliche Höhe wie die Siebröhrenglieder. Letztere entsprechen meist der ganzen Höhe einer Cambiumzelle und haben dann nur tangential geneigte Siebplatten aufzuweisen. Nur selten hat sich die Cambiumzelle ein Mal, oder noch häufiger getheilt, was durch quere Siebplatten auch im fertigen Zustande angezeigt wird [2]). Da die longitudinale Theilung zur Bildung der Geleitzellen erst auf die quere folgt, so haben auch in solchen Fällen die Geleitzellen keine von den Siebröhrengliedern verschiedene Länge. Hervorheben möchte ich, dass die Geleitzellen auch hier mit ihren Enden nicht aufeinander treffen. An aufeinander folgenden Siebröhrengliedern

1) l. c. p. 311.
2) Vergl. auch v. Janczewski, l. c. p. 312.

liegen die Geleitzellen an beliebigen Seiten, und ebensowenig ist eine Beziehung zu Geleitzellen benachbarter Glieder zu entdecken. An ihrer cambiumwärts gerichteten Fläche werden die Siebröhrenbänder nur durch eine sehr flache Schicht stärkeführender Bastparenchymzellen von den Bastfaserbändern getrennt, und es kommt nicht selten vor, dass hier einzelne Siebröhren und Geleitzellen auch direct an das Bastfaserband grenzen. Doch ist stets dafür gesorgt, dass die Geleitzellen mit dem Bastparenchym oder mit den Markstrahlen irgendwie in Berührung kommen. Dieses Verhalten, auf welches ich wiederholt im Laufe dieser Arbeit schon hingewiesen habe, ist bereits Lecomte [1]) aufgefallen und hat ihn zu dem allgemeinen Ausspruch veranlasst, „dass die Theilung", welche zur Abgrenzung der Geleitzellen führt, „sich so vollzieht, dass die Geleitzelle für gewöhnlich zwischen die Siebröhren einerseits, das Bastparenchym oder einen Markstrahl andererseits zu stehen kommt" [2]). In solchen Fällen wie bei Tilia, wo der Bast regelmässig geschichtet ist, lässt sich, wie ebenfalls schon Lecomte bemerkt, feststellen, dass innerhalb der zwischen zwei Markstrahlen gelegenen Basttheile die Geleitzellen häufig durch mehr oder weniger tangential orientirte Scheidewände abgegrenzt werden, um auf diese Weise mit Bastparenchymzellen in Berührung kommen zu können, während im Anschluss an die Markstrahlen die Abgrenzung eine mehr oder weniger radiale ist und die Geleitzellen zugleich nach der Markstrahlseite hin gerichtet. Vorwiegend erreichen übrigens die Geleitzellen der Siebröhren bei Tilia die Markstrahlen nicht, da sie in rinnenförmige Aushöhlungen der Bastfaserbänder zu liegen kommen; alsdann vermitteln Bastparenchymzellen die Verbindung mit dem Markstrahl. — Die Siebröhren von Tilia gehören zu denjenigen, die mehrere Jahre offen bleiben und hierauf erst ganz unabhängig von der Jahreszeit einen Callus bilden. Die Ausbildung dieses Callus ist nicht von einer bestimmten Jahreszeit abhängig, wird vielmehr nur durch das Alter, beziehungsweise den Zustand der betreffenden Siebröhre bedingt. Nachdem die Siebröhren ausser Thätigkeit gesetzt sind, wird der

---

1) Contribution à l'étude du liber des Angiospermes, Ann. d. sc. nat. Bot., VII. sér., T. X, 1889, p. 232.

2) l. c. p. 233.

Callus wieder aufgelöst[1]). Erwähnt sei an dieser Stelle gleich, dass sich Aristolochia Sipho, Fagus sylvatica und Rosa canina nach v. Janczewski[2]), Rhamnus cathartica, Rosa Gmelini, Berberis vulgaris, Atragene alpina, Hippophaë rhamnoides, Ilex Aquifolium, Ficus Carica, Coriaria myrtifolia und Nerium Oleander nach Russow[3]), Piper, Macropiper nach Lecomte[4]) und jedenfalls noch sehr viele andere Pflanzen ebenso wie Tilia verhalten; ein solches Verhalten fand Russow[5]) beispielsweise auch bei allen Warmhauspflanzen, die er im Januar untersuchte. Andere Hölzer wiederum sind dadurch ausgezeichnet, dass ihre Siebröhren zunächst provisorische Calli bilden, die zum Verschluss der Siebplatten während des Winters dienen, im Frühjahr aber wieder aufgelöst werden. Wir kommen bei Vitis auf solche Verhältnisse zurück. Bei Tilia bleiben nach v. Janczewski[6]) die Siebröhren ein bis vier Jahre thätig, und zwar dauert ihre Thätigkeit ein Jahr nur in den jungen Zweigen, steigt dann allmählich bis auf vier Jahre in den älteren Stammtheilen. Die Auflösung des Callus in den ausser Thätigkeit gesetzten Siebröhren pflegt nach Ablauf eines Jahres etwa zu erfolgen, kann aber auch unter Umständen wesentlich hinausgeschoben werden.

Die Bastfasern von Tilia weisen ein sehr enges Lumen auf. Nach den Enden der Fasern zu ist dieses Lumen ganz obliterirt, in mittlerer Länge etwas erweitert. Es führt desorganisirte, körnige Pflanzenreste; innerhalb der erweiterten Stelle lässt der verschrumpfte, gestreckte Zellkern sich nachweisen. Das von den Bastfasern gebildete Band ist kaum jemals von gleichmässiger Dicke, es erscheint vielmehr an einer oder an zwei Stellen von aussen ausgehöhlt und birgt in diesen rinnenförmigen Vertiefungen, wie zuvor schon erwähnt wurde, die Siebröhren. Der Verlauf der Bastbänder ist ein tangential sehr

---

1) Vergl. hierzu de Janczewski, Etudes comparées sur les tubes cribreux, Mém. de la soc. d. sc. nat. de Cherbourg, Bd. XXIII, p. 313, und Lecomte, l. c. p. 311.

2) l. c. p. 329.

3) Bau und Entwicklung der Siebröhren, Sitzber. d. Dorp. naturf. Gesellsch., 1882. p. 309.

4) l. c. p. 312.

5) l. c. p. 309.

6) l. c. p. 314.

stark welliger. Sie sind seitlich unter einander zu einem Netzwerk mit longitudinal gestreckten, weiten Maschen verbunden.

Die Markstrahlzellen im Baste zeigen sich relativ stark verdickt, daher ihre Untersuchung von Bedeutung wird. Die Intercellularen sind auch hier zwischen, beziehungsweise an denjenigen Zellenzügen der Markstrahlen vertreten, welche sie auch im Holzkörper aufwiesen. Die Gestalt der Markstrahlzellen verräth aber keine merklichen Verschiedenheiten, noch weniger ihr Inhalt. Sie hängen durch Poren mit den Elementen des Bastparenchyms zusammen, und deutliche flache Poren verbinden sie auch mit den Geleitzellen. Nach den Siebröhren hin sind ihre Wände glatt. Hingegen führen Poren aus den Markstrahlzellen auch nach den Bastfasern, die vor ihrer Verdickung mit stark porösen Wänden versehen sind, und meist mit stark porösen geneigten Wänden aneinander schliessen.

Während die primären Markstrahlen von Tilia nachträglich eine bedeutende, mit Zellvermehrung verbundene Breitenzunahme erfahren, stellt sich derselbe Vorgang nur in einem Theile der secundären Markstrahlen ein. Es sind das diejenigen Markstrahlen, welche mit Intercellularen versehen sind, somit die mehrschichtigen und nur ein Bruchtheil der einschichtigen. Die intercellularfreien einschichtigen Markstrahlen werden im älteren Baste zerdrückt und erscheinen an tangentialen Längsschnitten zuletzt nur noch als dunkle Spalte innerhalb der hellen Bastfaserbänder. Eine Anzahl von Intercellularen begleiteter einschichtiger Markstrahlen bleibt auch bestehen, ohne eine Zellvermehrung zu erfahren. Die am Leben verbleibenden Markstrahlen führen weiter reichliche Mengen von Stärke, ausserdem Kalkdrusen, die sich in den mehrschichtigen Markstrahlen vornehmlich an die Randzellen halten. Die solche Kalkdrusen führenden Zellen brauchen nicht in Verbindung zu stehen.

Den Angaben von Th. Hartig[1]) gemäss, werden jährlich bei der Linde zwei Bastfaserzonen erzeugt. Von dieser Regel weichen die ersten beiden Jahre ab, wo diese Bildung etwas reichlicher ausfällt. Wie ich gleich v. Janczewski[2]) finde, schliessen die Jahresbildungen mit einem auf die Krystallschicht folgenden, stärkehaltigen Bastparenchymbande ab.

---

1) Vollst. Naturgeschichte d. forst. Culturpfl., 1852, p. 561.
2) l. c. p. 310.

Wie zuvor schon im Anschluss an v. Janczewski angegeben wurde, beträgt die Lebensdauer der Siebröhren und Geleitzellen in älteren Stammtheilen der Linde vier Jahre, ja auch wohl darüber. Während dieser Zeit haben die Siebröhren ausser ihrem eiweisshaltigen Inhalt auch Stärke aufzuweisen[1]. Der Inhalt der das Innere der Siebröhren von Tilia füllt, ist relativ eiweissreich, im Winter soll, nach Lecomte[2], sein Eiweissgehalt abnehmen. Die entleerten Siebröhren werden, da die Bastparenchymzellen nicht wesentlich anschwellen und die Bastfaserplatten guten Schutz gewähren, nicht zerquetscht. Sie führen Luft. Ebenso wie die Siebröhren entleeren sich die Geleitzellen und fallen mehr oder weniger zusammen. Die stärkeführenden Bastparenchymschichten bleiben sehr lange, wohl 25 Jahre, am Leben. Es wird ihrer Existenz erst durch die Korkschichten ein Ende gemacht, welche sie von der Nahrungszufuhr abschneiden.

Ebensowenig wie in anderen Fällen, in welchen wir den Anschluss des secundären Zuwachses der Gefässbündel an den primären verfolgt haben, lässt sich bei Tilia europaea eine scharfe Grenze zwischen beiden ziehen. Tracheïden, Tracheen und Vasalparenchym sind in den primären Gefässtheilen in radialen Reihen angeordnet, und zahlreiche Markstrahlen schliessen weiterhin an das primäre Vasalparenchym an. Die Innenkante des sich keilförmig zuschärfenden Gefässtheils nehmen die desorganisirten Vasalprimanen ein. Erst nachdem der secundäre Zuwachs einige Zeit gedauert hat, werden Holzfasern und tangentiale Holzparenchymbänder in die Holzstränge eingeschaltet. — Der primäre Siebtheil, aus engen Siebröhren, Geleitzellen und Bastparenchym gebildet, schliesst nach aussen mit den sehr englumigen Cribralprimanen ab, auf welche der Beleg von Sklerenchymfasern folgt. Man kann in diesem wie in anderen Fällen constatiren, dass die Siebröhren in den primären Siebtheilen mit kaum geneigten Siebplatten versehen sind. Es

---

1) Russow führt hingegen Tilia unter denjenigen Pflanzen an, die zur Vegetationszeit keine Stärke in den Siebröhren führen. Bau und Entwicklung der Siebröhren, Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 300.

2) l. c. p. 318.

ist das, wie bereits von Lecomte hervorgehoben wurde[1]), eine den primären Siebtheilen der Stämme allgemein zukommende Eigenschaft, welche dieselben demgemäss mit den Blättern theilen. Dieses Verhalten gilt, wie das Beispiel von Tilia zeigt, ebenso gut für diejenigen Fälle, wo die Siebplatten der Siebröhren im secundären Zuwachs starke Neigung erlangen, wie für diejenigen, wo sie auch dort kaum geneigt bleiben. Wo, wie bei Tilia, die kaum geneigte Stellung im secundären Zuwachs in eine stark geneigte überzugehen hat, vermitteln Zwischenstufen den Uebergang. Die Sklerenchymfasern des äusseren Belegs der Siebtheile sind von den Sklerenchymfasern des secundären Zuwachses im Siebtheil, den Bastfasern, kaum zu unterscheiden. Lecomte[2]) schlägt neuerdings vor, solche, dem Grundgewebe zugehörenden Sklerenchymfasern von den anderen als „fibres extra-libériennes“ zu unterscheiden. Man könnte dieselben, wo es nöthig erscheint, als extracribrale Sklerenchymfasern bezeichnen. Lecomte findet, dass diese extracribralen Sklerenchymfasern vielfach stärker verholzt sind als die Bastfasern, was ich bestätigen kann. Lecomte möchte dies in Beziehung zu der Umgebung bringen, in welcher diese und jene Sklerenchymfasern entstehen[3]).

Die innere Grenze der primären Rinde wird bestimmt durch die „Stärkescheide“, die sich durchschnittlich um eine Zellschicht von den Sklerenchymbelegen hält, stellenweise dieselben berührt. Diese Stärkescheide ist im Querschnitt nicht scharf gegen das angrenzende Gewebe abgesetzt, besser im Längsschnitt zu unterscheiden, wo ihre Elemente durch geringere Höhe und festeren Verband auffallen. Die Stärkekörner der Stärkescheide werden in Chlorophyllkörpern erzeugt. Diese Zellschicht zeichnet sich durch ihren Stärkereichthum zur Zeit der Ausbildung der Gefässbündelprimanen bereits aus. Ihre Zellwände sind durch keinerlei besondere chemische Veränderung noch Verdickung charakterisirt.

Die zu ausgiebigem Breitenwachsthum bestimmten primären Markstrahlen zeichnen sich schon vor Beginn des secundären Wachsthums aus. Alle Markstrahlen erscheinen etwas

---

1) Vergl. l. c. p. 228 und p. 320.
2) l. c. p. 220.
3) l. c. p. 223, 224.

grosszelliger bis zu der Stelle, an der das interfasciculare Cambium sich bildet. Daraus freilich den Schluss zu ziehen, dass der Pericykel hier bis zu jener Stelle reicht, und einen Beweis dafür erblicken zu wollen, dass auch hier, der allgemeinen Annahme von Morot[1]) entsprechend, das Interfascicularcambium noch aus dem Pericykel entsteht, müsste etwas willkürlich erscheinen.

An die Stärkescheide schliesst die grosszellige, chlorophyllhaltige Rinde an, die von einem ebenfalls chlorophyllführenden Collenchymringe umgeben wird, auf welchen eine hypodermale gestreckt parenchymatische Zellschicht und die Epidermis folgen. Stellenweise werden auch in der primären Rinde, ähnlich wie an der Markkrone, Gummigänge gebildet durch Auseinanderweichen von Zellen[2]). Im Mark wird erst nach vollendetem Längenwachsthum die Differenzirung in weitere lufthaltige und enger verbleibende lebendige Elemente vollzogen, während die Ausbildung der Gummigänge bis in die jüngsten Theile hinein zu verfolgen ist.

Die erste Korkbildung findet im Hypoderm statt. Die Verbindung mit der umgebenden Atmosphäre erhalten die Lenticellen. Die Anlage einer Phellogenschicht im secundären Bast erfolgt erst spät, wohl erst nach dem fünfundzwanzigsten Jahre. Dieses Korkcambium verläuft im Bastparenchym und dem Markstrahlgewebe und führt zur Borkenbildung. Grosse Massen von Calciumoxalat und Gerbstoff werden so von den inneren am Leben verbleibenden Geweben abgegrenzt und schliesslich von der Pflanze abgeworfen; dieselbe entledigt sich auf diesem Wege auch der Nebenproducte des Stoffwechsels. Die Grenze der Lebensthätigkeit der secundären Rinde dürfte wohl durch die Häufung dieser Nebenproducte bestimmt sein. Der Holzkörper, der hier kein Kernholz bildet und bestimmt ist, bis in ein hohes Alter hinein seine Lebensfunctionen zu vollziehen, bleibt von Nebenproducten frei. Besonders auffallend ist dies für die Markstrahlen, die nur in ihrem Rindenabschnitt Calciumoxalat führen.

In den Blattstielen der Linde sind die Gefässbündel zu

---

1) Recherches sur le péricycle, Ann. d. sc. nat. Bot., VI. sér., T. XX, 1885, p. 267.

2) Vergl. Frank, Beitr. zur Pflanzenphysiol., 1868, p. 113.

einer liegenden Ellipse angeordnet, die eventuell nur an der Oberseite, den Medianen des Blattstiels entsprechend, mit einem engen Spalt geöffnet erscheint, oder auch mehrere Lücken zeigt. Sie werden an ihrer Aussenseite von Sklerenchymfasersträngen begleitet und von der Stärkescheide umfasst. Falls die Gefässbündelfigur nur eine einzige obere Lücke aufweist, ist auch die Stärkescheide nur an dieser Stelle durchbrochen. Grosszelliges Parenchym, von Gummigängen durchsetzt, folgt auf die Stärkescheide im Umkreis und findet sich auch in der Mitte des Blattstiels zwischen der Gefässbündelfigur ein. Das innere Gewebe hängt durch die obere Lücke, eventuell durch mehrere Lücken, wenn solche vorhanden, mit dem äusseren zusammen. Der an die Stärkescheide, sowie die Innenkanten der Gefässbündel zunächst grenzende Theil dieses Gewebes führt zahlreiche Krystalldrusen von Calciumoxalat. Ein peripherischer, starker, an die Epidermis anstossender Collenchymring sorgt für die mechanische Festigkeit des Blattstiels. Der Schwefelsäure widerstehen die Elemente der Stärkescheide nicht viel besser als das angrenzende Gewebe, keinesfalls sind sie cutinisirt. — Am Grunde des Blattstiels öffnet sich die Gefässbündelfigur rinnenförmig, die einzelnen Gefässbündel sondern sich von einander, und zwei seitliche und drei mittlere Gefässbündel dringen so in den Stengel ein. Die drei mittleren Bündel verschmelzen innerhalb der Stengelrinde zu einem einzigen, so dass drei Gefässbündel, zwei seitliche und ein medianer, schliesslich in den Bündelkreis des Stammes treten. Die entsprechenden Theile der Gefässbündel und der sie begleitenden Gewebe setzen sich hierbei continuirlich aus dem Blattstiel in den Stamm fort. Das gestreckt parenchymatische Gewebe, das den Gefässtheil der Blattbündel umscheidet, geht in Mark und primäre Markstrahlen, die Sklerenchymbelege, die zum Pericykel gehören, und die Stärkescheide an der Aussenseite der Blattbündel in die gleichnamigen Gewebe des Stammes über. Eine vollständige Umscheidung der Blattbündel durch die Stärkescheide findet aber auch nach deren Eintritt in die Stammrinde nicht statt. Es treten somit die Blattbündel durch eine nach oben offene Lücke der Stamm-Stärkescheide in den Centralcylinder ein, während sich ihre Stärkescheide rinnenförmig nur nach abwärts in die Stamm-Stärkescheide fortsetzt. Das lockere Gewebe, das im Blattstiel die Stärkescheide umgab

und auch den mittleren Raum zwischen den Gefässbündeln füllte, geht in das entsprechend gebaute Gewebe der primären Stammrinde über.

Von den Rändern der rinnenförmig gestalteten, an der Gefässtheilseite concaven Figur, welche die Gefässbündel am Grunde des Blattstiels bilden, lösen sich weiter hinauf einzelne kleinere Gefässbündel ab, die nunmehr in dem von den grösseren Gefässbündeln umschlossenen Raum zu liegen kommen. Diese kleinen Gefässbündel erfahren eine Drehung, so dass ihre mit einigen Sklerenchymfasern belegten Siebtheile nach der gemeinsamen Mitte gekehrt erscheinen. Zugleich schwindet das lockere parenchymatische Gewebe innerhalb des von den Gefässbündeln umschlossenen Raumes, und diese umschliessenden Gefässbündel selbst verschmelzen seitlich zu einem vollen Kreise. Dieser Kreis flacht sich am Grunde der Lamina ab, wird nierenförmig und giebt seitlich Gefässbündel an die Seitennerven ab. So erschöpft sich der Gefässbündelkreis allmählich innerhalb des Mittelnerves, so dass in halber Länge der Lamina nur noch die der Blattunterseite zugekehrte Hälfte desselben vorhanden ist. Die Stärkescheide hört schon im Blattstiel alsbald auf, nachweisbar zu sein. Der Gefässbündelkreis wird aber von den Sklerenchymfasern scheidenförmig umschlossen. Innerhalb des Mittelnerven erhält sich die sklerenchymatische Scheide, wird aber an den beiden Seiten des Gefässbündels geschwächt und schliesslich durch gestreckte parenchymatische Elemente dort ganz ersetzt.

Die Lamina der Blätter von Tilia europaea zeigt typische, netzadrige Gefässbündelvertheilung, doch sind die blinden Enden im Verhältniss nicht zahlreich und fehlen innerhalb vieler Maschen vollständig. Häufig sieht man ausserdem einen Bündelzweig, dessen Tracheïden bereits aufhörten, sich durch gestreckte Elemente bis zum nächsten Gefässbündel fortsetzen [1]). In den Blattzähnen endet je ein ziemlich starkes Gefässbündel mit schwach auseinanderspreizenden, nach einander erlöschenden Tracheïden Die Gefässbündel werden, vornehmlich an ihrer Oberseite, bis in die letzten Auszweigungen, von krystallführenden Zellen be-

1) Vergl. hierzu auch Alfred Fischer, l. c. p. 30, und Areschoug, Jemförande undersökningar öfver badets anatomi, Lund 1878, p. 51.

gleitet. Diese Zellen erreichen an der Oberseite die über den Gefässbündeln fortlaufenden, in derselben Richtung gestreckten Epidermiszellen. Ebensolche gestreckte Epidermiszellen folgen den Bündeln auf der Blattunterseite und werden von chlorophyllfreien Elementen der Bündelscheide erreicht. Nur die Scheiden der letzten Bündelauszweigungen kommen nicht bis an diese Zellen heran. Der Contact mit der Epidermis bewirkt es, dass das Bündelsystem sich als helles Netzwerk in der Blattspreite zeichnet. — Wie die Querschnitte lehren, sind die stärkeren Laminarbündel, am Innenrande des Gefässtheils, reichlich von gestrecktem Parenchym begleitet. Der Siebtheil ist sehr englumig, das Cribralparenchym führt stellenweise Calciumoxalat-Krystalle. An der Ober- und Unterseite stärkerer Gefässbündel sind noch stark verdickte und gedehnte sklerenchymfaserähnliche Elemente angebracht. In den letzten Auszweigungen (Taf. III, Fig. 14) hört der Siebtheil mit einigen wenigen, äusserst verengten Siebröhren, den zugehörigen, wesentlich erweiterten Geleitzellen (*a*) und einigen Cribralparenchymzellen, schliesslich eventuell mit Elementen nur der ersteren Art auf. Der Gefässtheil solcher Gefässbündel führt einige sehr enge Schraubentracheïden, eventuell auch noch Vasalparenchymelemente. Nach Erlöschen des Siebtheils setzen sich die Tracheïden noch eine kurze Strecke lang fort, um alsbald auch aufzuhören. Die gestreckten Elemente, welche das Bündel dann, unter Umständen, bis zu einem nächsten Bündelzweige fortsetzen, sind inhaltsarm, stossen mit schrägen Wänden auf einander, bleiben von parenchymatischen Elementen umscheidet. Ihr Anschluss an die anderen Bündelzweige, sowie ihr Ursprung lehren, dass sie den sklerenchymfaserähnlichen Elementen der stärkeren Bündel entsprechen. Sie unterscheiden sich von jenen nur durch geringere Länge, meist schwächere Verdickung und weniger ausgeprägt sklerenchymatischen Charakter. Einzelne dieser Zellen sind verholzt. — Im Wesentlichen, so wie es hier geschieht, deutet diese Elemente auch Alfred Fischer[1]) und tritt mit Recht der Ansicht von Areschoug entgegen, der sie für wenig differenzirte, in das Mesophyll vordringende Siebröhren hält[2]). — Lässt man auf zarte Querschnitte Schwefel-

---

1) l. c. p. 31.
2) l. c. p. 56.

säure einwirken und vergleicht nun das Verhalten der verschieden starken Gefässbündel, so stellt man unschwer fest, dass die innerste Schicht des Mesophylls, welche als Scheide die letzte Gefässbündelendigung umgiebt und der Schwefelsäure widersteht, in den stärkeren Gefässbündeln, wenn auch weniger scharf abgesetzt, die verdickten Elemente der Ober- und Unterseite mit umschliesst. Diese verdickten Elemente gehören dem das Gefässbündel begleitenden Gewebe des Centralcylinders an. Die oberen, sammt dem anschliessenden gestreckten Parenchym, dem Mark; die unteren, an den Siebtheil anschliessenden, dem Pericykel; die innerste Mesophyllschicht ist als Endodermis ausgebildet. Die gestreckten, krystallführenden Elemente, welche die Endodermis mit der Epidermis der Ober- und Unterseite verbinden, liegen ausserhalb der Endodermis und gehören somit wie letztere dem Mesophyll an. Nach längerer Einwirkung der Schwefelsäure fällt es auf, dass die Innen- und Aussenkanten der radialen Wände der Endodermis stärker verdickt sind, dass alle Intercellularen ihr fehlen, und dass sie bis zuletzt einen lückenlosen Verschluss um das Gefässbündel bildet. Die Endodermis widersteht der Schwefelsäure in ihrem ganzen Umfang und zeichnet sich daher nach Schwefelsäure-Behandlung scharf in den Präparaten. Den Epidermisstreifen, welche mit den Gefässbündeln durch die gestreckten, Nebenproducte führenden Mesophyllzellen verbunden sind, entspringen an jungen Blättern auch die Haare, bestimmt, ihrerseits einen Theil der Nebenproducte aufzunehmen. Der Umstand, dass diese Nebenproducte, vornehmlich das Calciumoxalat, die Gefässbündel so oft begleiten, hat wiederholt zu der Annahme veranlasst, dass sie zu der Wanderung der Kohlehydrate in unmittelbarer Beziehung stehen. Das wird, wie schon bei Coniferen erwähnt wurde, von Schimper in Abrede gestellt. Diese häufige Begleitung der Gefässbündel von den das Calciumoxalat führenden Elementen lässt sich auch wohl von den nämlichen Gesichtspunkten aus, die ich bereits bei Coniferen zur Geltung zu bringen suchte, erklären, nämlich von den Vortheilen, welche aus der Vereinigung aller Leitungsbahnen für die Pflanze erwachsen. Dadurch werden die der Assimilation dienenden Gewebe am wenigsten, nämlich nur einmal, gestört. Das zunächst schon die Ursache, warum die wasserleitenden und die eiweissleitenden Bahnen im Gefässbündel vereinigt werden,

während sie bekanntlich doch auch getrennt auftreten können; das weiter die Ursache einer Vereinigung der Bahnen für Kohlehydrate mit den Gefässbündeln; das schliesslich wohl auch die Ursache des Anschlusses der die Nebenproducte führenden Bahnen an die Gefässbündel. Dass mit Calciumoxalat beladene Bahnen auch getrennt von den Gefässbündeln verlaufen können, lehren uns die mit solchen Krystallen besetzten, isolirt verlaufenden Sklerenchymfaserstränge, besonders bei Monocotyledonen.

Das Holz von Hedera Helix untersuchte ich zunächst an einem alten, Mitte November gefällten Stamme, der im Alter von ca. 30 Jahren stand und einen Durchmesser von 7 cm aufzuweisen hatte. Am Querschnitt (Taf. III, Fig. 15) fallen, vornehmlich nach Jodbehandlung, die tangentialen, unregelmässig begrenzten Bänder (*f*) auf, die von stark verdickten, einfach getüpfelten, stärkehaltigen Holzfasern gebildet werden. Mit diesen wechseln aus Gefässen (*m*) und Tracheïden (*t*) bestehende Bänder ab. Stellenweise erscheinen im Querschnitt Bandstücke der Holzfasern von Gefässen und Tracheïden allseitig umgeben, und ebenso ist auch das umgekehrte Verhalten zu beobachten. Zahlreiche Markstrahlen durchschneiden den Holzkörper, von stärkeren, die drei bis vier Zellreihen breit sind, bis zu solchen hinab, die nur eine Zellreihe aufweisen. Im Gegensatz zu den zahlreichen Markstrahlen ist nur sehr wenig Holzparenchym vorhanden. Dieses Holzparenchym folgt in vereinzelten Zellenzügen den Gefässen und den Tracheïden, ist aber im Querschnitt nicht von den Holzfasern zu unterscheiden. An Längsschnitten erkennt man dasselbe an den stärker verdickten porösen Querwänden, während die Holzfasern nur durch dünne Scheidewände gefächert sind. Bei dieser geringen Ausbildung des Holzparenchyms ist es hier somit das Markstrahlparenchym fast allein, das die Beziehungen der lebendigen Elemente des Holzkörpers zu den wasserleitenden unterhält. Die Zahl der Markstrahlen ist daher annähernd ebenso gross wie bei den Coniferen. Ich zählte an tangentialen Schnitten durchschnittlich 50 Markstrahlen verschiedener Grösse in einem Gesichtsfelde von 1,38 mm Durchmesser. So dürfte die überwiegende Mehrzahl der Gefässe und Tracheïden in Contact mit Markstrahlzellen kommen. Die Gefässwände sind mit quergestreckten

Tüpfeln dicht bedeckt. Diese Tüpfel zeigen sich zweiseitig behöft zwischen den Gefässen, oder den Gefässen und Tracheïden, einseitig behöft und relativ weit nach dem Holzparenchym und den Markstrahlen zu. Ein tertiäres Schraubenband fehlt den Gefässen, und erscheinen diese daher fast glatt an den schmalen Flächen, mit denen sie Holzfasern berühren. Denn an diesen Flächen sind nur ganz vereinzelte, punktförmige Tüpfel zu sehen. Die Querwände der Gefässe zeigen sich meist von nur einem elliptischen Loche durchbohrt. Die Tracheïden haben dieselbe quere Tüpfelung, wie die Gefässe, dort, wo sie an andere wasserleitende Elemente, an Holzparenchym oder an Markstrahlen grenzen, aufzuweisen; an der Contactfläche mit Holzfasern zeigen die Tracheïden ziemlich steil aufsteigende, eng gewundene, feine Schraubenbänder. Zwischen den Tracheïden und den Gefässen sind alle Uebergänge vorhanden. Man braucht bei Hedera meist nicht lange zu suchen, um auch ein an seinem Ende tracheïdal abgeschlossenes Gefäss zu finden. Hervorzuheben ist, dass auch, wie gewöhnlich bei Lianen, in Begleitung der grossen Gefässe engere, wasserleitende Elemente verlaufen. — Trotz ihres lebendigen Inhalts und ihrer Function als Reservestoffbehälter besitzen die Holzfasern im Epheu-Holze das typische Aussehen von Sklerenchymfasern. Sie zeigen bedeutende Länge, verjüngen sich allmählich an ihren Enden und weisen einfache, enge, spaltenförmige, linksläufige Tüpfel auf. Diese Tüpfel sind am Grunde kaum erweitert und stehen besonders zahlreich, von Holzfaser zu Holzfaser, auf den radialen Flächen, somit auf dem Wege, der nach den Markstrahlen führt. Mit letzteren sind die Holzfasern durch eben solche Tüpfel verbunden, während, wie schon erwähnt, nur ganz spärliche, punktförmige Tüpfel sich zwischen den Holzfasern und den wasserleitenden Elementen auffinden lassen. Die Holzfasern von Hedera sind, was ebenfalls schon angegeben wurde, gefächert[1]), und zwar vorwiegend nur durch eine, in halber Länge angebrachte, zarte Querwand. Die Holzparenchymstränge unterscheiden sich von diesen Holzfasern nur durch zahlreichere, stärker verdickte, poröse Querwände. Einzelne Uebergänge fehlen natürlich nicht.

In den Markstrahlen von Hedera Helix wiederholen sich

1) Vergl. auch Sanio, Bot. Ztg., 1863, p. 111.

wieder ganz ähnliche Verhältnisse wie bei Tilia. Dieselben weisen Zellreihen auf, die, soweit sie Gefässe streifen, mit diesen durch grosse Poren verbunden sind, und solche Zellreihen, welche an den Gefässwänden glatt bleiben. Auch bei Hedera bilden die Zellreihen ersterer Art die einschichtigen Markstrahlen und nehmen die Ränder mehrschichtiger ein; ausserdem decken sie aber bei Hedera, im Gegensatz zu Tilia, auch mehr oder weniger vollständig die Seiten der mehrschichtigen Markstrahlen. Auch bei Hedera sind die mit den Gefässen communicirenden Markstrahlzellen, im Gegensatz zu den anderen, stärkearm bis stärkefrei. Auch bei Hedera können sich diese Zellreihen an den Rändern der Markstrahlen durch etwas grössere Höhe und geringere Länge ihrer Elemente auszeichnen, doch vielfach fehlt auch dieser Unterschied ganz. Die Grenze zwischen beiden Zellformen ist bei Hedera noch mehr wie bei Tilia verwischt. Es wiederholt sich bei Hedera wieder die Erscheinung, dass die einschichtigen Markstrahlen ohne Intercellularen sind, an den mehrschichtigen Markstrahlen die Intercellularen sich aber an das Innere des Markstrahls halten. Bei Hedera meiden sie auch die Seiten der mehrschichtigen Markstrahlen fast vollständig, was mit deren Beziehung zu den Gefässen zusammenhängen mag. Dass auch bei Hedera von den längeren Zellen der mehrschichtigen Markstrahlen aus Kanäle nach den Intercellularen führen, braucht nicht erst hervorgehoben zu werden. Im Gegensatz zu Tilia sind die Poren an den mit den Gefässen verbundenen Markstrahlzellen bei Hedera etwas weniger zahlreich. Diese Poren stehen nicht so dicht gedrängt beisammen, zeichnen sich aber durch ihre Grösse aus. Die Zahl der Poren, durch welche die übereinander liegenden, und in mehrschichtigen Markstrahlen auch die nebeneinander liegenden Zellreihen communiciren, ist relativ bedeutend; in den Markstrahlen von Hedera ist somit auch für eine ausgiebige Verbindung in tangentialen Richtungen innerhalb der Markstrahlen gut gesorgt. Die Markstrahlzellen von Hedera sind ziemlich stark verdickt, die Markstrahlen sehr verschieden an Grösse. Die kleinsten einschichtigen weisen nur eine Höhe von zwei Zellen auf, während die mehrschichtigen grössten bis 40 Zellen hoch und 6 Zellen breit werden. Durch die grosse Zahl der vorhandenen Markstrahlen wird ein tangential welliger Verlauf der Holzstränge bedingt.

Die Jahresringe sind bei Hedera nicht scharf markirt, was mit der immergrünen Belaubung dieser Pflanzen zusammenhängt. Im Herbst werden vornehmlich Holzfasern erzeugt, ohne jedoch auch an dieser Stelle ein continuirliches Band zu bilden.

Den von mir untersuchten 30-jährigen Stamm fand ich bis auf die innersten Jahresringe lebendig, nur das grosszellige Mark war gebräunt und abgestorben. Gegen die todten Elemente des grosszelligen Markes ist der Holzkörper aber sehr gut abgeschlossen, und zwar durch die stark verdickten Elemente der Markkorne. Diese Elemente umfassen den primären Gefässtheil, und in ihnen münden auch die primären Markstrahlen. Das junge Mark besteht im Uebrigen aus grosszelligen, locker verbundenen, stärkehaltigen Zellen, zwischen welchen, in der Peripherie, Gummigänge eingeschaltet sind.

Im Baste von Hedera fallen vor allem die Siebröhren durch ihre Weite auf. Die engen Geleitzellen erscheinen von den Ecken der Siebröhren abgeschnitten und zwar kann das eine innere oder eine äussere Ecke sein. Der Regel nach ist hier jede Siebröhre nur mit einer Geleitzelle versehen. Die Terminalwände der Siebröhrenglieder sind sehr stark geneigt; schwächer geneigte Siebplatten sind vielfach eingeschaltet. Erstere sind durch quere Balken in zahlreiche übereinander gelegene Siebfelder getheilt. Zahlreiche Siebtüpfel befinden sich an den Seitenwänden aneinander stossender Siebröhren. In der Nähe der Siebplatte war sehr feinkörnige, sich mit Jod weinroth färbende Stärke anzutreffen. Der Geleitzellfaden an jedem Siebröhrengliede wird aus zwei bis vier Zellen gebildet. Dieser Faden ist oft wesentlich kürzer als das Siebröhrenglied. Die Geleitzellen aufeinander folgender Glieder brauchen nicht aufeinander zu treffen. Jeder Geleitzellfaden muss aber in Contact mit einem Markstrahl stehen. Englumiges Bastparenchym wechselt in tangentialen, meist nur ein- bis zweischichtigen Bändern mit den einschichtigen Lagen der Siebröhren ab. Stellenweise wird in einzelnen Baststrängen ein solches Bastparenchymband breiter und enthält Gummigänge. Ebenso sind stellenweise einzelne Bastparenchymbänder durch Sklerenchymfasern vertreten. Manchmal zeigen sich nur einzelne Stellen eines zwischen zwei Markstrahlen befindlichen Bandes in solcher Weise umgebildet, nicht selten einzelne Bastfasern in ein solches Band eingeschaltet. Das Bild macht nicht den Eindruck, als könnte

diesen Bastfasern hier eine mechanische Bedeutung zukommen. Sie sind als weitmaschiges, vielfach unterbrochenes Netzwerk, ohne radiale Widerlager, in ganz dünnwandiges Gewebe eingebettet und könnten somit, bei Druck von aussen, allenfalls zur Beschädigung, nicht zum Schutz der dünnwandigen Gewebe beitragen. Auch noch in anderer Beziehung ist aber das Verhalten der Bastfasern hier sehr instructiv. Auf grösseren tangentialen Längsschnitten, besonders nachdem man dieselben mit Jodlösung behandelt hat, wird man nämlich unschwer constatiren können, dass das Netz der Sklerenchymfasern hier vielfach unterbrochen ist, dass oft einzelne Ausläufer desselben blind endigen, dass nicht selten endlich einzelne solche Fasern, respective kleinere Fasercomplexe, völlig getrennt von den anderen in dieses dünnwandige Gewebe eingebettet sind. Nur diejenigen Bastfasern, welche zu längeren Strängen verbunden sind, werden hier somit Nebenproducte auf weitere Strecken fortleiten, die isolirten Fasern oder Fasergruppen nur die erzeugten Nebenproducte an Ort und Stelle fixiren können. — Diese Bastfasern sind durch dünne, stellenweise auch dicke Scheidewände gefächert, auch kommt es wohl bei einer erlöschenden Reihe vor, dass einzelne Endglieder einer Faser unverdickt bleiben. Ein sehr reducirter, doch noch lebendiger Inhalt ist in den Bastfasern nachzuweisen.

Schon auf Querschnitten fällt hier ganz bedeutend die Beziehung der Geleitzellen zu den Markstrahlen auf, die Tendenz, die Geleitzellen in Contact mit den Markstrahlen anzubringen. Auf tangentialen Längsschnitten ist auch eine Verbindung durch Tüpfel zwischen Markstrahlzellen und Geleitzellen sicherzustellen, nicht aber zwischen Markstrahlzellen und Siebröhren. Die Verbindung der Markstrahlzellen mit den Geleitzellen ist in der ganzen Höhe des Markstrahls ausgebildet. So auch führen Tüpfel aus den Markstrahlzellen nach dem Bastparenchym und in nicht minder auffälliger Weise auch nach den Bastfasern. Vielfach sieht man einen blind endigenden Bastfaserstrang gabelförmig mit seinen Enden einen Markstrahl umfassen. Endlich liegen die isolirten Bastfasern dicht angeschmiegt einem Markstrahl an. Die Ränder der mehrschichtigen Markstrahlen verhalten sich den anstossenden Elementen gegenüber nicht anders als die einschichtigen Markstrahlen. Auch hier, wie bei Tilia, sterben die intercellularfreien einschichtigen Mark-

strahlen in den älteren Basttheilen ab, oder werden sehr inhaltsarm, während die am Leben verbliebenen, vornehmlich mehrschichtigen Markstrahlen, dort mit Inhalt dicht angefüllt sind und zahlreiche Krystalldrusen auch ausgebildet haben.

In dem Maasse, als man sich vom Cambium entfernt, schwindet der Inhalt der Siebröhren, und ihre Siebfelder werden von Callusmasse bedeckt. Diese Callusmasse erscheint hier aber nur in sehr geringer Menge ausgebildet, so dass sie zur Verdickung der Siebplatte kaum wesentlich beiträgt. Gleichzeitig mit dem Inhalt der Siebröhren schwindet auch derjenige der Geleitzellen. Weiterhin kann man feststellen, dass die Calli von den Siebplatten wieder weggelöst, und dass die Siebröhren mehr oder weniger stark gedrückt werden. Erst in jener Gegend des Siebtheils, in welcher die Siebröhren ausser Action treten, beginnt in einzelnen, im Querschnitt zerstreuten Bastparenchymzellen, die Bildung von Krystalldrusen aus Calciumoxalat. Diese Drusen erreichen alsbald bedeutende Grösse, die Nachbarzellen drückend, und würden den Siebröhren wohl nachtheilig werden, wenn sich letztere hier noch in Function befänden. Wie Längsschnitte zeigen, sind die einzelnen Krystallzellen sehr kurz und bilden Schnüre verschiedener Länge, die sich an den Enden im Bastparenchym fortsetzen. Auch die Verdickung der Bastfasern erfolgt erst in den Regionen der ausser Thätigkeit gesetzten Siebröhren, während die functionirenden Gummigänge bis zwischen die lebenden Siebröhren hineinreichen. Vielfach kann man in bestimmten Intervallen eine Abwechslung von Gummigänge führenden Parenchymplatten mit Bastfaserbändern constatiren, vielfach bleibt aber die eine oder die andere dieser Bildungen aus. Die Menge der Kalkdrusen steigt in älteren Basttheilen, und das Gummi der Gummigänge nimmt dort allmählich eine orangerothe Färbung an. Die Markstrahlen erfahren mit Eintritt in die Bastzone die nämliche Veränderung, die wir auch bei Tilia constatiren konnten, sie beginnen nämlich gleich nach diesem Eintritt Drusen von Calciumoxalat zu bilden. Doch sind es nur die inneren Reihen breiterer Markstrahlen, welche dieses Verhalten zeigen, während die an die Siebtheile grenzenden äusseren Reihen kalkfrei bleiben. Daraus erklärt es sich, dass weniger als dreireihige Markstrahlen zunächst überhaupt kalkfrei sind und erst innerhalb älterer Basttheile, jenseits der lebenden Siebröhren,

Krystalldrusen erhalten. — Die Markstrahlelemente bleiben in der Bastzone dünnwandig, unverholzt; durch ihre Vermittlung hängen alle Bastparenchymmassen zusammen. Die schmalen radialen Intercellulargänge, welche die Markstrahlen begleiten, setzen sich aus dem Holzkörper durch das Cambium in den Bast fort. Die äusseren Bastmassen werden durch Periderm-lagen fortdauernd abgegrenzt und als rissige Borke abgeworfen. Die Korkzellen sind durch die auffallend starke Verdickung ihrer Innenwandung ausgezeichnet.

Die Untersuchung frischen Materials lehrt, dass die krystallführenden Elemente in den Markstrahlen des Basttheils lufthaltig sind. Ebenso zeigen sich lufthaltig die Krystalldrusen führenden Zellen des Bastparenchyms.

Bei Vitis vinifera gehen in die Zusammensetzung der Holzstränge nach de Bary [1]): Gefässe, Tracheïden, gefächerte und ungefächerte Faserzellen, sowie Strangparenchym ein; in die Zusammensetzung des Bastes nach Wilhelm [2]): Siebröhren, Geleitzellen, Cambiformzellen und gekammerte Faserelemente.

An einem Anfang October geschnittenen und in Alcohol eingelegten Stamme von Vitis Labrusca, der in allen wesentlichen Punkten des Baues mit dem Stamme von Vitis vinifera übereinstimmt, fand ich alle Elemente des Holzkörpers, die wasserleitenden ausgenommen, mit Stärke erfüllt. Wie bei anderen Lianen fallen auch bei dieser die Gefässe des Holzkörpers durch ihre bedeutende Weite auf und es schliessen auch hier an zahlreiche weite Gefässe engere tracheale und tracheïdale Elemente an. Diese engen, wasserleitenden Elemente bilden ausserdem noch Gruppen für sich. Die Gefässe haben quergestreckte Tüpfel, kein Schraubenband an ihren Wänden aufzuweisen. Sie communiciren durch die quergestreckten Tüpfel unter einander mit den Tracheïden, den holzparenchymatischen Elementen und den angrenzenden Markstrahlzellen, während nur spärliche punktförmige Tüpfel durch die Gefässwand nach einer angrenzenden Holzfaser führen. Die Quer-

1) Vergl. Anat., p. 510 u. a. a. O.

2) Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dicotyler Pflanzen, 1880.

wände der Gefässe zeigen sich meist nur wenig geneigt und von einem einzigen Loche durchbohrt. Die Tracheïden sind faserförmig; an denjenigen Wänden, mit denen sie einander oder die Gefässe berühren, zeigen sie sich mit quergestreckten Hoftüpfeln, welche die ganze Breite der Wand einnehmen, dicht bedeckt; an denjenigen Flächen, mit welchen sie an die Holzfasern grenzen, sind sie mit ziemlich steil aufsteigenden, tertiären Schraubenbändern versehen [1]). Auch hier lassen sich alle Uebergangsformen zwischen Gefässen und extrem gestalteten Tracheïden leicht ausfindig machen. Die Tracheïden bilden vornehmlich radial fortlaufende Reihen, in welche auch wohl Gefässe eingeschaltet sind. Solche radiale Reihen von Tracheïden durchsetzen stets, an Grösse abnehmend, das Spätholz und erreichen so die Peripherie des Jahresringes. Die Gefässe des nächstjährigen Frühholzes schliessen an vielen Orten entweder direct oder durch Vermittlung neuer Tracheïden an jene Tracheïdenreihen an, wodurch eine Verbindung in radialer Richtung hergestellt wird. — Die Holzfasern, welche die Hauptmasse der Holzstränge bilden, stimmen in Gestalt und Länge mit den extremen Tracheïden überein. Nur eine relativ geringe Zahl dieser Holzfasern ist völlig ungefächert, die grosse Mehrzahl besitzt dünne Querwände. Die Zahl dieser Querwände ist grösser oder kleiner, wodurch alle Uebergänge von ungefächerten in reich gefächerte Holzfasern geschaffen werden. Je enger die Holzfaser ist, um so kleiner im Allgemeinen die Zahl der Querwände, die sie aufweist. Ungefächerte wie gefächerte Holzfasern haben spaltenförmige, unbehöfte, linksläufige Tüpfel aufzuweisen und führen sämmtlich Stärke, eventuell auch Chlorophyll [2]). — Das Holzparenchym zeichnet sich vor den reich gefächerten Holzfasern dadurch aus, dass die Querwände stärker verdickt und demgemäss auch deutlicher porös erscheinen. Das Holzparenchym ist um die Gefässe und Tracheïdengruppen entwickelt. An der Wand der weitesten Gefässe sind die Holzparenchymzellen besonders kurz und stark abgeflacht. Im Verhältniss zu den Holzfasern fällt die relative Stärkearmuth, respective der Stärkemangel, in diesen, dem wasserleitenden System anliegenden Holzparenchymzellen auf,

1) Vergl. auch Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 110.
2) Vergl. auch Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 111.

eine Erscheinung, die sich somit wieder mit unseren anderweitigen Erfahrungen deckt. Die zahlreichen grossen, halbbehöften Tüpfel verbinden das tracheale System mit den Holzparenchymzellen. So hängen auch die Holzparenchymzellen durch reichliche einfache Tüpfelkanäle mit den Holzfasern zusammen, während, wie schon erwähnt, die Tüpfelverbindung zwischen letzteren und den Gefässen eine äusserst spärliche ist.

Die primären Gefässtheile am Mark zeigen enge, langgezogene und zerdrückte Ring- und Schrauben-Tracheïden, die Vasalprimanen, dann einige weite, wohlerhaltene Schraubengefässe, auf welche die grossen Tüpfelgefässe folgen. Um die Vasalprimanen ist das Vasalparenchym dünnwandig und reicht so zum Theil bis an die grossen Tüpfelgefässe heran. Diese weiten Tüpfelgefässe des primären Gefässtheils werden alsbald durch Thyllen verstopft. Wie das zwischen den Gefässen befindliche dünnwandige Vasalparenchym des primären Gefässtheils allmählich in die gefächerten Holzfasern des secundären Zuwachses übergeht, so zeigt es sich andererseits nicht scharf abgesetzt gegen die den primären Gefässtheil an der Markseite umscheidenden Grundgewebselemente. Letztere nehmen mit der Entfernung vom Gefässbündel an Breite zu, an Länge ab. Mit ihrem Breitendurchmesser wächst die Grösse der Stärkekörner, die sie einschliessen. Dann folgen die noch weiteren, stärkefreien Markzellen, deren Wanddicke allmählich abnimmt, während kleine Intercellularen zwischen ihnen auftreten. — Die den primären Gefässtheil umscheidenden Grundgewebselemente stimmen in ihrer Wandverdickung und in der grosskörnigen Stärke die sie führen, mit den Markstrahlzellen überein; sie sind auch rechteckig wie jene, doch in der Längsrichtung gestreckt, während jene radial gedehnt erscheinen.

Die Markstrahlen von Vitis haben, trotz ihrer mächtigen Entwicklung, Elemente nur einer Art aufzuweisen. Dieselben erscheinen meist radial gestreckt, im Querschnitt und in radialer Ansicht rechteckig, an tangentialen Längsschnitten fünf- bis sechseckig. Die peripherischen Zellen an den Seiten sind je nach Umständen anders gestaltet und in der Längsrichtung der Achse oft bedeutend gestreckt. Eine scharfe Grenze zwischen dem Markstrahl und dem anschliessenden Holzparenchym ist nicht immer zu ziehen. Alle diese Markstrahlzellen führen dieselben grossen Stärkekörner und sind gleich stark verdickt.

Die Intercellularen werden aber an der Aussenfläche des Markstrahls nicht angelegt, verlaufen vielmehr nur in seinem Innern. Die Tüpfel nach den Intercellularen hin sind wie auch sonst ausgebildet. — Wie das für eine Anzahl anderer Lianen, so für Clematis, Cocculus, Cissus, Aristolochia [1]) bekannt ist, und wie es auch für kletternde holzige Cucurbitaceen und Begonien zutrifft [2]), laufen die Markstrahlen von Vitis als continuirliche, bis sieben Zellen breite Gewebsplatten in dem Stamme fort. Die secundären Markstrahlen werden wesentlich schmäler als die primären. Vornehmlich sind es Holzfasern und Holzparenchymzellen, welche seitlich an die Markstrahlen ansetzen. Grenzen Markstrahlzellen an ein Gefäss, so nehmen sie den Charakter des die Gefässe begleitenden Holzparenchyms an; ihr Stärkegehalt sinkt entsprechend.

Es hat v. Janczewski bereits darauf hingewiesen, dass Gefässverbindungen im Holzkörper die Markstrahlen durchsetzen [3]). Ich konnte feststellen, dass diese Verbindungen sehr verschieden ausgebildet, und nicht allein Gefässverbindungen, sondern häufiger noch Holzfaserverbindungen sind. Die Verbindung ist meist eine schräge, selten eine rein quere. Zur Herstellung der Verbindung haben oft deutlich entsprechend veränderte Markstrahlzellen gedient; in anderen Fällen setzen sich Holzfasern, Tracheïden oder Gefässe scheinbar unverändert, nur mit entsprechender Biegung, schräg durch den Markstrahl fort. Oder es biegt etwa eine Holzfaser einseitig in den Markstrahl ein, um weiter in demselben durch kurze, quergestreckte Zellen, die Holzfaserhabitus angenommen haben, fortgesetzt zu werden. Wo ein weites Gefäss durch den Markstrahl geht, nehmen Reihen von Markstrahlzellen um dasselbe den Charakter der die Gefässe sonst begleitenden Holzparenchymzellen an. Diese die Markstrahlen durchsetzenden Brücken sind mir im Zuwachs

1) Fr. Müller, Ueber das Holz einiger um Desterro wachsenden Kletterpflanzen, Bot. Ztg. 1866, p. 58. Vergl. auch Crüger, Einige Beiträge zur Kenntniss von sogenannten anomalen Holzbildungen des Dicotylenstammes, Bot. Ztg. 1851, Zusammenfassung der Resultate Sp. 491.

2) Nach Mittheilungen des Herrn Dr. H. Schenck.

3) Études comparées sur les tubes cribreux, Mém. de la société d. sc. nat. de Cherbourg, Vol. XXIII, p. 325.

späterer Jahre häufiger entgegengetreten als in solchen der ersten.

Am 14. Juni in Alcohol eingelegte Stammstücke enthielten Stärke in den nämlichen Zellen wie das Winterholz, doch in weit geringerer Menge. Die Holzparenchymzellen um die Gefässe erschienen fast stärkefrei.

In zweijährigen Zweigen bereits beginnen einzelne Markzellen abzusterben und sich zu bräunen, und diese Bräunung nimmt in den folgenden Jahren rasch zu. In einem 6-jährigen Zweige waren die Elemente des Markes, mitsammt der Markkrone, abgestorben und gebräunt, dementsprechend stärkefrei. Der ganze secundäre Holzkörper führte noch Stärke. Dieselbe hörte in den Markstrahlen genau an der dem secundären Zuwachs entsprechenden Grenze auf. In einer Anzahl Gefässe des erstjährigen Zuwachses waren Thyllen gebildet.

Im secundären Siebtheile wechseln bekanntlich, in zur Stammoberfläche parallelen Bändern, dünnwandigere Elemente mit dickwandigeren ab. Die dünnwandigeren bestehen aus Siebröhren sammt Geleitzellen und aus Bastparenchym. Nicht alle weitlumigen Elemente der dünnwandigeren Bänder sind als Siebröhren anzusprechen; ein Theil gehört dem Bastparenchym an und zeichnet sich durch seinen Gehalt an Gerbstoff aus. Die sehr englumigen Geleitzellen werden meist in Mehrzahl an einem Siebröhrengliede angelegt, doch trifft der Querschnitt oft keine einzige derselben. Denn, wie durch Wilhelm [1]) bereits bekannt, kommt diesen Geleitzellen weit geringere Höhe als den Siebröhrengliedern zu; sie werden an letzteren als relativ kurze, an den Enden zugespitzte Schwesterzellen herausgeschnitten. Diese Geleitzellen treffen mit ihren Enden nicht aufeinander; sie sind vollständig von einander getrennt und können somit nicht der Längsleitung der Stoffe dienen, die sie führen. Sie übermitteln dieselben vielmehr an das Bastparenchym. Der Zellkern der Geleitzellen ist etwas langgestreckt und grösser als derjenige der Bastparenchymzellen, auch fallen die Geleitzellen durch ihren reicheren protoplasmatischen Inhalt auf. Dieser Unterschied zwischen dem Inhalt der Geleitzellen und der Bastparenchymzellen macht sich am meisten im Winter geltend,

1) Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dicotyler Pflanzen, 1880, p. 4 u. a. m.

weil alsdann die Bastparenchymzellen auch noch Stärke führen, welche den Geleitzellen, hier wie überall, abgeht. Die Geleitzellen sind andererseits im Winter inhaltsarm, dienen somit nicht als Reservestoffbehälter; ja sie zeigen sich dann vielfach abgeflacht, ja selbst eingefallen, um sich in der nächsten Vegetationsperiode wieder zu füllen. Ebenso hat bereits Lecomte [1]) für die Siebröhren von Vitis angegeben, dass dieselben in ihrem Lumen während des Winters einen sehr wässerigen Inhalt führen, dass um jene Zeit auch ihre Stärke grösstentheils verschwunden ist, während Callusbelege die Siebplatten decken. Diesem Verhalten nach, das uns auch an anderen Objecten schon begegnete, sollte man schliessen, dass auch die Siebröhren im Winter nicht als Reservestoffbehälter dienen, vielmehr die Stoffe, die sie führten, durch Vermittelung der Geleitzellen an das umgebende Bastparenchym und die Markstrahlen abgegeben haben. Hieraus würde sich die bei Vitis und verschiedenen anderen Holzgewächsen im Herbst erfolgende Verschliessung der Siebplatten durch Calli ungezwungen erklären lassen. Es soll im Winter eben keine Stoffleitung im Innern der Siebröhren vor sich gehen, und local etwa sich geltend machende Saugungen sich nicht auf Entfernung fortpflanzen. Im Frühjahr erfolgt dann wieder eine Auflösung der Calli, womit die Siebplatten wegbar werden. Der Eiweissgehalt in den Siebröhren nimmt dann alsbald zu und so auch die Menge der Stärke. Dass die Substanz des aufgelösten Callus diese Zunahme an Eiweissstoffen in der Siebröhre bedingt habe, ist kaum wahrscheinlich. Sollten der Substanz des Callus solche Eigenschaften zukommen, so würden die Calli in den Siebröhren der Blätter nicht mit diesen im Herbst abgeworfen werden. Die Zunahme des Eiweissgehalts der Siebröhren im Frühjahr dürfte somit bereits auf neue zugeleitete Assimilate zurückzuführen sein. Die Abnahme der Stärke in den Siebröhren im Winter legt andererseits den Gedanken nahe, dass dieselbe zur Bildung des Callus Verwendung finde. Denn eine Abgabe so geringer Mengen Stärke an das an Kohlehydraten so reiche Bastparenchym dürfte kaum bezweckt werden. Ein unverbrauchter Theil der Stärke bleibt dann auch in den Siebröhren im Winter zurück. Lecomte [2]) giebt an, dass

---

1) Contribution à l'étude du liber des Angiospermes, Ann. d. sc. nat. Bot., VII. sér., T. X, p. 310.

2) l. c. p. 310.

bei der im Frühjahr erfolgenden Auflösung der provisorischen Calli der Siebröhren von Vitis das Protoplasma der Siebröhrenglieder in die feinen Poren des Callus eindringe, diese erweitere und schärfer zeichne, und gleichzeitig der Callus selbst an Grösse abnehme, dabei seine scharfen Umrisse behaltend. Der am Ende des zweiten Jahres, bei Anbruch des Winters, zu den beiden Seiten der Siebplatten auftretende definitive Callus ist meist stärker entwickelt als der im ersten Jahre erzeugte. Die Siebröhre entleert sich während seiner Bildung und ihr protoplasmatischer Wandbeleg wird ungleich desorganisirt. Damit ist die Siebröhre ausser Thätigkeit getreten. Der definitive Callus, den sie enthält, pflegt zu Anfang des dritten Jahres aufgelöst zu werden, kann aber unter Umständen auch länger bestehen [1]). Lecomte hebt bereits ganz richtig hervor, dass die Auflösung dieses definitiven Callus sich in anderer Weise wie die des ersten vollzieht. Er schmilzt gewissermaassen von aussen ab. Schliesslich bleibt nur die nackte Siebplatte zurück. — Die Bildung von Calli mit Antritt des Winters ist für den Birnbaum, für Populus macrophylla, Juglans regia, Tecoma radicans durch v. Janczewski constatirt worden [2]). Beim Birnbaum ist aber, wie auch Lecomte [3]) bestätigen konnte, dieser in seinem Auftreten an die bestimmte Jahreszeit gebundene Callus zugleich der einzige, der gebildet wird, während dies für die anderen der genannten Pflanzen durch v. Janczewski noch nicht sichergestellt war. Beim Birnbaum erhalten die im Laufe der letzten Vegetationsperiode erzeugten Siebröhren im Spätherbst bereits ihre Callusbelege, so dass man im Winter überhaupt keine Siebröhren dort ohne Calli findet. Im nächsten Frühjahr, während die Calli aufgelöst werden, verschwindet zugleich der Inhalt der Siebröhren, welche somit nicht in erneuerte Thätigkeit treten. Ein solches Verhalten ist besonders instructiv, weil es gut begründet, was ich zuvor geäussert, dass die Siebröhren selbst wohl als Leitungsbahnen, nicht aber als Reservestoffbehälter functioniren. — Wahrscheinlich ist es, dass sehr verschiedenen dicotylen Holzgewächsen, darunter beispiels-

---

1) Vergl. de Janczewski, Études comparées sur les tubes cribreux, p. 323, und Lecomte, l. c. p. 310.

2) l. c. p. 330.

3) l. c. p. 309.

weise Tecoma radicans, die Fähigkeit zukommt, den für den Winter gebildeten Callus im Frühjahr wieder aufzulösen [1]). So ist es bei monocotylen Pflanzen, bei welchen in den untersuchten Fällen die Siebröhren der Rhizome die Fähigkelt behalten, alljährlich ihre Siebplatten zu öffnen und zu schliessen, solange als der betreffende Pflanzentheil noch lebensfähig bleibt [2]).

Im Stamm von Vitis, um auf diesen zurückzukommen, schwindet im Frühjahr die Stärke des Bastparenchyms zuerst, und zwar vom Cambium ausgehend, während die Bastfasern sowie die Holzstränge zunächst noch ihre Stärke behalten. Mit der Füllung der Siebröhren erfolgt dann auch die Füllung der Geleitzellen. Die Zeit aber, in welcher die von Janczewski beobachteten Siebröhren von Vitis aus dem winterlichen Zustand zu treten begannen, war Ende April. Ihre Siebplatten blieben alsdann noch längere Zeit dicker als wie im Sommer, und erst im Juni hatten sie ein Aussehen erlangt, wie es den im gleichen Jahre erzeugten Siebröhren zukam [3]). — Zu Anfang des Sommers ist die ganze, die activen Siebröhren führende Bastzone, die Bastfasern und Markstrahlen nicht ausgenommen, stärkefrei. Etwas Stärke findet sich alsdann nur noch in den äussersten Theilen der Markstrahlen und dem, die collabirten Siebröhren führenden Bastparenchym vor. Während die Stärke verschwindet, nimmt der Gerbstoffgehalt in den durch ihre Weite ausgezeichneten Bastparenchymzellen zu. — Wie bereits Wilhelm [4]) bemerkte, grenzen die Siebröhren und Geleitzellen hier nirgends direct an die Bastfaserplatten, werden vielmehr von denselben stets durch Bastparenchymzellen, die stellenweise sehr flach sein können, getrennt. Andererseits durchsetzen auch radial orientirte Zellenzüge enger Bastparenchymzellen die einzelnen Abschnitte des Bastes [5]). So wird es möglich gemacht, dass die Geleitzellen mit Bastparenchym stets in Berührung kommen. Bei der grossen Kürze der Geleitzellen und dem Mangel eines Zusammenhanges, auf längere Strecken hin, zwischen denselben, muss hier in der That eine bestimmte Einrichtung bestehen,

1) Vergl. v. Janczewski, l. c. p. 231.

2) Ebendas. p. 298.

3) l. c. p. 321.

4) Beiträge zur Kenntniss des Siebröhrenapparates dicotyler Pflanzen, p. 5.

5) Vergl. auch Wilhelm, l. c. p. 3.

um die Ableitung des Inhalts der Geleitzellen nach den Verbrauchsorten zu ermöglichen. Die gewohnte directe Verbindung der Geleitzellen mit den Markstrahlen ist hier hingegen an keiner Stelle zu beobachten; hingegen hängen die Markstrahlzellen mit dem Bastparenchym durch zahlreiche Poren zusammen. — Die Bastparenchymzellen selbst sind untereinander durch zahlreiche Tüpfel verbunden, welche die Querwände ganz vorwiegend bevorzugen. Bei Vitis bleibt es auch im Baste leicht, die Grenzen der ursprünglichen Cambiumzellen zu bestimmen, welche durch ihre Quertheilung die Bastparenchymfäden erzeugten. Ganz ähnlich, wie dies bei Holzparenchym der Fall, sieht man hier die gemeinsam entstandenen Bastparenchymzellen eine Reihe bilden, die an beiden Enden mit einer zugeschärften Zelle abschliesst. — Diese Beziehungen verwischen sich bei Pflanzen, deren Bastparenchymzellen sich nach der Anlage stärker abrunden. Sie traten mir aber doch in zahlreichen Fällen ziemlich scharf entgegen. — Die queren Platten aus stark verdickten Elementen, die ich bereits als Bastfasern bezeichnet habe, sind in ziemlich gleichen Abständen dem Weichbast eingeschaltet. Daher kommt es auch, dass je nach der Stärke des Zuwachses die Anzahl der in einem Jahre erzeugten Platten verschieden ausfallen kann. Hier haben die Bastfaserplatten aber sicher mechanische Bedeutung für den Schutz der weichen Basttheile erlangt. Sie sind demgemäss mit ihren Rändern dem relativ widerstandsfähigen Gewebe der Markstrahlen eingefügt. Erreicht eine Bastfaserplatte den Markstrahl nicht, dann schliesst sie an eine radiale Reihe von Bastparenchymzellen an, die ebenso stark wie Markstrahlzellen verdickt sind und an der nächstinnern Bastfaserplatte ihre Stütze finden. — Trotz ihrer starken Verdickung haben die Bastfasern von Vitis ihren lebendigen Inhalt behalten und führen Stärke. Sie verbinden, gleich den Holzfasern, die mechanische Function mit derjenigen von Reservestoffbehältern, sind somit zugleich „Stereom“ und „Amylom“, dagegen, da sie kein Calciumoxalat enthalten, kein „Oxalatom“! Im Frühjahr behalten sie innerhalb des Bastes am längsten ihre Stärke. Weiter sind diese Bastfasern dadurch ausgezeichnet, dass sie durch Scheidewände gefächert sind [1]). Sie entsprechen somit auch darin den

1) Vergl. auch Sanio, Bot. Ztg. 1863, p. 111.

gefächerten Holzfasern des Holzkörpers. Es unterliegt für mich überhaupt keinem Zweifel, dass die Bastfasern durch Vermittlung der Sklerenchymzellen und der gefächerten Bastfasern, ganz ebenso von dem parenchymatischen System des Siebtheils, dem Bastparenchym, respective Cribralparenchym, abzuleiten sind, wie die Holzfasern durch ähnliche Zwischenstufen von dem parenchymatischen System des Gefässtheils, dem Holzparenchym, respective Vasalparenchym. — Die queren Scheidewände in den Bastfasern von Vitis sind ebenso dünnwandig wie in den Holzfasern derselben Pflanze, ihre Zahl denselben Schwankungen unterworfen. Von de Bary werden diese Bastfasern unter den gekämmerten Fasern, deren Zellfunctionen langsam erlöschen [1], angeführt. Thatsächlich bleiben diese Bastfasern hier aber am Leben, bis zu dem Augenblicke, wo sie durch Kork von den inneren Geweben abgeschnitten werden. Der Plasmaschlauch, den diese Zellen führen, ist sehr dünn; ihr Zellkern gestreckt, spindelförmig.

Die Siebplatten zwischen den aufeinander folgenden Gliedern der Siebröhren zeigen starke tangentiale Neigung, so dass man sie, auf radialen Schnitten, der ganzen Fläche nach leicht überblicken kann. Sie entsprechen den Terminalwänden der aus dem Cambium erzeugten Glieder. Quer zum Längsverlauf der Siebröhren orientirte Siebplatten sind relativ selten, sie kommen durch Quertheilung der ursprünglichen Glieder zu Stande [2]. Der Bau und die Entwicklungsgeschichte der Siebröhren ist mit am eingehendsten bei Vitis studirt worden, und zwar durch Wilhelm, durch v. Janczewski und neuerdings auch durch Lecomte, doch ziehe ich es vor, die diesbezüglichen Vorgänge, soweit sie für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind, erst bei Cucurbita in Betracht zu ziehen. Erwähnen will ich hier nur, dass an mässig dicken Längsschnitten, die ich mit Pikrinsäure fixirt hatte, die gesammte innere Schleimmasse sich contrahirt und von dem dünnen protoplasmatischen Wandbeleg getrennt hatte. Der Schleim stellt sich in dem Lumen der jungen Siebröhrenglieder in einer meist zusammenhängenden Schicht ein, welche in ihrem Auftreten zunächst die beiden Endflächen bevorzugt. Die im Wandplasma eingebetteten

1) Vergl. Anat., p. 141.
2) Vergl. v. Janczewski, l. c. p. 317.

Leucoplasten sind nicht sehr zahlreich, doch relativ gross. Die Stärkekörner entstehen in bedeutender Anzahl in einem Stärkebildner; ich habe bis neun gezählt. Die Stärkebildner sind vornehmlich den Endflächen der Glieder genähert. Sie zerfallen ausserordentlich leicht, wobei die Stärkekörner zerstreut werden. Der Zellkern schwindet bald nach Beginn der Schleimbildung.

Die Dicke des in einem Jahre gebildeten Bastringes ist eben solchen Schwankungen unterworfen, wie die Dicke der Holzringe. Der Zuwachs des ersten Jahres ist im Holz besonders ausgiebig; an der Bastseite fasst er nur ein bis zwei Bastfaserzonen in sich; im späteren Alter wird die Dicke des erzeugten Bastringes und somit auch die Zahl der Bastfaserzonen, die er enthält, meist grösser. Erst im Herbst des zweiten Jahres wird der im ersten Jahre erzeugte Bastring mehr oder weniger vollständig abgeworfen. Dies wiederholt sich in ähnlichem Verhältniss in den aufeinander folgenden Jahren, sodass der active Bast aus dem im laufenden und dem vorhergehenden Jahre erzeugten Ringe, sowie aus Resten eines nächst älteren besteht. Dieses Verhalten wird von v. Janczewski durchaus richtig angegeben [1]), sowie auch die Thatsache, dass der vom drittletzten Jahre verbliebene Theil nur passive Siebröhren führt. Thatsächlich werden die Siebröhren und Geleitzellen des ausser Thätigkeit zu setzenden Bastringes schon im Herbst, vor Beginn der Peridermbildung durch die anschwellenden Bastparenchymzellen zerdrückt. Sie bilden alsdann gequollene, dicke, ziemlich stark lichtbrechende Wandmassen zwischen den Bastparenchymzellen. In seltenen Fällen werden, wie v. Janczewski zeigte [2]), einzelne Siebröhren nicht zerdrückt, sondern mit Thyllen angefüllt. Die Thyllenbildung erfolgt von den benachbarten Bastparenchymzellen aus in ganz der nämlichen Weise wie sonst in den Gefässen. Diese Erscheinung ist in Siebröhren anderer Pflanzen bis jetzt nicht beobachtet worden. — In den Bastparenchymzellen des betreffenden Bastringes treten alsbald tangentiale Theilungen zur Bildung des Phellogens ein, ohne sich an eine bestimmte Entfernung von den Bastfaserplatten zu halten. Von dem ausser Thätigkeit gesetzten

1) l. c. p. 319.
2) l. c. p. 324, Taf. XI, Fig. 9.

Bastringe bleiben entweder nur eine Partie Bastparenchym, oder auch, falls die Korkcambiumbildung weiter nach aussen sich einstellt, noch eine, selten mehr Bastfaserzonen zurück.

Die innerhalb des Bastkörpers befindlichen Abschnitte der Markstrahlen sind in der Form ihrer Elemente von dem den Holzkörper durchlaufenden Abschnitte nicht verschieden, nur etwas dünnwandiger. Die radialen Intercellularen halten sich auch hier an das Innere des Markstrahls. Sie setzen sich in diejenigen der Holzstrahlen fort. Eine weiter gehende Differenzirung als in den Holzstrahlen ist in den Rindenstrahlen insofern zu verzeichnen, als ein Theil der Elemente hier krystallführend geworden ist. Die krystallführenden Zellen sind kleiner und gehen aus jungen Markstrahlzellen hervor, indem diese sich der Quere nach in zwei oder mehr Abschnitte theilen. Diese Abschnitte sind annähernd cubisch und so ihre Zahl durch die Höhe der Markstrahlzelle bestimmt. Entweder bleibt die sich theilende Zelle vereinzelt, oder es folgen zwei, selten mehr, über- oder nebeneinander befindliche Zellen diesem Vorgang, so dass längere Fäden, respective grössere Complexe von Krystallzellen entstehen. Diese Zellen führen je einen grossen Einzelkrystall. Sie gehören ganz vorwiegend der Randschicht des Markstrahls an. Vereinzelte, radial gestreckte Zellen im Innern des Markstrahls können andererseits ein in Schleim eingebettetes Raphidenbündel ausbilden. Die krystallführenden Zellen behalten hier, wie auch sonst häufig, einen dünnen Plasmaschlauch und reducirten Zellkern; die mit einem Einzelkrystall versehenen füllen für den Winter den etwa disponiblen Raum mit Stärke an; in den Raphidenzellen tritt hingegen Stärke nicht auf. — Ganz ebenso wie wir Elemente der Holzstränge die Markstrahlen stellenweise durchsetzen sahen, können wir in den Markstrahlen des Bastkörpers Brücken aus Elementen der Baststränge beobachten. Auf das Vorhandensein solcher Siebröhrenverbindungen hat zuerst Wilhelm hingewiesen und sie eingehend beschrieben [1]). Sie durchsetzen meist schräg, in tangentialer Richtung, den Markstrahl. Dass die Siebröhrenglieder aus Gewebemutterzellen des Markstrahls erzeugt worden sind, fällt in die Augen. Die Siebröhrenglieder behalten nämlich die ursprüngliche Gestalt der Markstrahlzellen bei. Jedes

1) l. c. p. 5 und 30.

Siebröhrenglied ist von einer oder von mehreren, seitlich von ihm abgeschnittenen, engen Geleitzellen begleitet, die ihren Charakter als Geleitzellen auch durch ihren Inhalt offenbaren und auch im Winter stärkefrei bleiben. Die Scheidewände zwischen den aufeinander folgenden Siebröhrengliedern sind als Siebplatten ausgebildet[1]). In manchen Fällen habe ich auch Bastparenchymstränge die Rindenstrahlen schräg durchsetzen sehen. Die Verbindung entsprach ganz derjenigen durch Holzfasern.

Vor Eintritt der Korkbildung, und solange als noch keine undurchsichtige Borke erzeugt worden ist, erscheint das Holz von Vitis grün gefärbt, was damit zusammenhängt, dass die Stärkebildner der Markstrahlzellen Chlorophyll enthalten. Später schwindet das Chlorophyll vollständig.

Der Korkcambiumring durchsetzt auch die Markstrahlen, und zwar erfährt er innerhalb dieser Strahlen eine Einsenkung, die ihn gebuchtet erscheinen lässt. Die nach aussen von dem Phellogen gelegenen Zellen der Siebtheile, wie der Markstrahlen, verlieren alsbald ihre Stärke, die dem Phellogen zu Gute kommt; sie behalten hingegen ihren Gerbstoffgehalt und ihr Calciumoxalat. Der Gerbstoff färbt die Wände der dünnwandigen Elemente innerhalb der Borke rothbraun und bringt der Pflanze jetzt directen Nutzen, indem er diese Borke widerstandsfähiger macht und sie schützt. — Die vor der Mitte der Markstrahlen erzeugten, in Folge der hier vorhandenen Einsenkung convergirenden und auf einander drückenden Korkzellen werden frühzeitig desorganisirt. Diese ihre Desorganisation erleichtert jedenfalls den Zutritt der umgebenden Luft zu den senkrecht die Oberfläche treffenden, radialen Intercellularen der Markstrahlen. Dieselbe Desorganisation der Korkelemente vor den Markstrahlen bedingt es, dass sich die Borke später in einzelne, den Bastfaserpartien entsprechende Streifen spaltet.

Die Untersuchung junger Triebe lehrt, dass eine Grenze zwischen dem primären und secundären Gewebe auch innerhalb der Gefässbündel von Vitis sich nicht ziehen lässt. In der That tritt der an der Grenze von Gefäss- und Siebtheil verbleibende Cambiumstreifen sofort in Thätigkeit, um secundäre Elemente

---

1) Vergl. auch die Abbildung bei Wilhelm, l. c. Taf. VI, Fig. 73, und bei Lecomte, l. c. Taf. XXIII, Fig. 40.

nach beiden Seiten zu erzeugen. Die zwischenliegenden Markstrahlelemente folgen zunächst durch radiale Streckung und Grössenzunahme der Ausdehnung der Bündel, bald bildet sich das interfasciculare Cambium in diesen Markstrahlen aus und verbindet die Fascicularcambien. — Die Zusammensetzung der primären Gefässtheile hatten wir schon am älteren Holze ins Auge gefasst. Am Aussenrande hinreichend junger Bündel sind auch die Cribralprimanen unschwer zu unterscheiden. Sehr bald werden in dem noch procambialen Siebtheile einzelne weitlumigere, schlauchförmige, gerbstoffreiche Parenchymzellen differenzirt. Der Siebtheil zeigt sich nach aussen von einem kräftigen Sklerenchymfaserstrange umfasst. Die Elemente desselben werden relativ spät, erst nach vollendeter Streckung des Internodiums, verdickt. Sie zeigen sich ziemlich weitlumig, stossen aber mit stark geneigten Wänden auf einander. Die nachgebildeten Siebröhren des primären Siebtheils sind relativ stärkereich; ihre Siebplatten kaum geneigt. Diese Siebröhren stehen noch an Weite dem zwischenliegenden Bastparenchym nach. Die schlauchförmigen Elemente der letzteren geben Gerbstoffreaction. Der gerbstoffreiche Inhalt wird in diesen Zellen, wie im secundären Zuwachs, als gelbliche, stark lichtbrechende Masse im Alcohol fixirt.

Den Sklerenchymbelegen der Gefässbündel liegt eine Stärkescheide an [1]). Es ist das die als Stärkescheide entwickelte innerste Rindenschicht [2]). Ihre Zellen erscheinen relativ kurz und treten auf Längsschnitten noch schärfer als auf Querschnitten hervor; sie führen grosse Chlorophyllkörner, die mit Stärke vollgepfropft sind, zeigen aber keinerlei Cutinisirung. Vor den Markstrahlen ist diese Stärkeschicht unterbrochen. Um sie mit Stärke gefüllt zu sehen, darf kein zu junges Internodium in Untersuchung genommen werden. Die Stärke zeigt sich erst nach Differenzirung der Gefässprimanen. Sie bleibt zunächst auch nach vollzogener Verdickung der Sklerenchymbelege noch erhalten und schwindet erst um die Zeit, in welcher die Bildung des Phellogens beginnt. Durch diese

1) Vergl. de Bary, l. c. p. 431.

2) Vergl. van Tieghem, Traité de Botanique, p. 743; auch Morot, Recherches sur le Péricycle, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XX, p. 222 Anm.

erste Korkbildung werden nur die Gewebe der primären Rinde und die Sklerenchymfaserbelege entfernt. Das Korkcambium geht aus den äussersten Parenchymschichten des Siebtheils hervor, nachdem dort zuvor die Siebröhren und Geleitzellen collabirten. Sind in dem betreffenden Siebtheil eine oder mehrere Bastfaserplatten aufgetreten, so collabiren die Siebröhren nur ausserhalb der äussersten Bastfaserplatte; wo es vor Abschluss der Vegetation des ersten Jahres nicht zur Bildung einer Bastfaserplatte kam, eliminirt die äussere Partie des Siebtheils ihre Siebröhren.

Der Bau der Blattstielbündel stimmt mit demjenigen der primären Stammbündel überein. Die Sklerenchymbelege an der Siebtheilseite sind hingegen weit schwächer entwickelt, erfahren nur in ihren äusseren Theilen und auch dort meist eine geringe Verdickung. Die nöthige Festigkeit erlangt der Blattstiel durch die starken Collenchymstränge, die er in seinem ganzen Umkreis an den vorspringenden Rippen entwickelt. Der Sklerenchymfaserbeleg jedes Gefässbündels wird von derselben Stärkescheide wie im Stengel umfasst. — Die Blattstielbündel schliessen im unteren Theile des Blattstiels zu einem vollen, von oben etwas eingedrückten Kreise zusammen, von dem nur zwei kleine Gefässbündel ausgeschlossen sind, die an der Blattstieloberseite zu den beiden Seiten der vorspringenden Rippe, welche eine ziemlich stark vertiefte Rinne führt, verlaufen. Die zum Kreise geschlossenen Gefässbündel sind durch Interfascicularcambium verbunden, das aber nur wenige Schichten englumiger, verholzender Elemente zwischen den Gefässbündeln erzeugt. Sie umschliessen ein weitlumiges Gewebe aus polygonalen Zellen, welches ganz den Eindruck eines Markes macht. — In den Blattstielbündeln fällt auch die radiale Einschaltung von Cribralparenchym zwischen die Siebröhren nebst Geleitzellen auf. Einzelne Zellfäden führen Krystalle. Die zahlreich vertretenen Gerbstoffschläuche erinnern in ihrer Ausbildung und Vertheilung an die Schläuche im primären Siebtheil des Stengels und so auch an ähnliche Schläuche in den Blattbündeln zahlreicher Leguminosen. Diese Schläuche haben dort neuerdings eine besondere Bedeutung gewonnen, da innerhalb derselben bei Mimosa, nach Haberlandt [1]), Störungen des hydrostatischen

1) Das reizleitende Gewebesystem der Sinnpflanzen, 1890.

Gleichgewichts fortgeleitet werden sollen und die Reizfortpflanzung vermitteln. Haberlandt hält die reizleitenden Zellen von Mimosa und die Secretschläuche der anderen Leguminosen für homologe Gebilde [1]) und meint, dass diese Secretschläuche sich bei Mimosen specifischen Functionen der Reizfortpflanzung angepasst hätten. Es ist diese Annahme in der That wahrscheinlich. Dem Wesen nach würde eine solche Verwerthung der Secretschläuche in jenem Falle kaum etwas anderes sein, als die Verwerthung der im Siebtheil sich ablagernden sklerotischen Massen, in anderen Fällen, zu mechanischen Zwecken. Dass letzteres weit häufiger geschah, liegt in der Natur der Sache.

An der Basis des Blattstiels von Vitis öffnet sich der Gefässbündelkreis auf der Oberseite und tritt rinnenförmig aufgerollt in den Stengel ein, um in dessen Gefässbündelkreis alsbald Aufnahme zu finden. Dabei kann man feststellen, dass die Stärkescheide den einzelnen Blattbündeln folgt und in der Stärkescheide des Stengels ihre Fortsetzung findet, dass somit die innerste Rindenschicht den einzelnen Gefässbündeln aus dem Stengel in die Blätter folgt. Ebenso ist Continuität zwischen den die Gefässbündel begleitenden, dem Pericykel gehörenden Sklerenchymfaserbelegen nachzuweisen. Endlich folgt den Gefässbündeln auch an der Innenkante und den Seiten gestreckt parenchymatisches Gewebe, welches sich in das Mark, respective die primären Markstrahlen des Stengels fortsetzt. Dieses Gewebe entspricht den gestreckt parenchymatischen Elementen, welche die einzelnen Gefässbündel von innen und von den Seiten im Blattstiel umscheiden. Das grosszellig parenchymatische Gewebe, welches im Blattstiel von dem Gefässbündelkreis umschlossen ist, setzt sich hingegen in dem Centralcylinder des Stengels nicht fort und kann daher auch im Blattstiel nicht als Mark, d. h. als ein dem Mark des Stengels homologes Gewebe bezeichnet werden. Es geht vielmehr aus dem Blattstiel in die primäre Rinde des Stengels über, und muss daher auch im Blattstiel als homolog diesem Rindengewebe gelten, worauf ich später zurückkomme. Anders ist es mit dem Markgewebe der über dem Blattstiele inserirten Achselknospe, welches direct sich in dasjenige des Tragsprosses fortsetzt. Von den Ab-

1) l. c. p. 78.

schnitten der Stärkescheide, welche die einzelnen Gefässbündel im Blattstiel rinnenförmig von aussen umfassen, überzeugt man sich auch leicht, dass dieselben, beim Eintritt der Gefässbündel in die Stengelrinde, nicht etwa dieselben vollständig umschliessen und somit auch nicht etwa in Gestalt geschlossener Ellipsen an die Stärkescheide des Stengels ansetzen, vielmehr an der Aussenseite der Gefässbündel verbleiben. Die Stärkescheide der Blattbündel schliesst hier somit rinnenförmig nach abwärts an die Stärkescheide des Stengels an, während der Gefässtheil des in den Bündelkreis des Stengels eintretenden Gefässbündels von gestrecktem Parenchym umscheidet wird, das somit durch eine Lücke der Stärkescheide des Stengels in den Centralcylinder desselben tritt. Erst oberhalb der Eintrittsstelle schliesst die Stärkescheide wieder zusammen.

Die Vertheilung der Gefässbündel innerhalb der Lamina ist eine netzadrige. Die letzten Auszweigungen endigen blind innerhalb der Maschen. In den Blattzähnen schliessen je ein stärkeres, mittleres und zwei seitliche, schwächere Bündel ab. In den Hauptrippen der Lamina zeigen die Gefässbündel bei geringerer Anzahl eine ähnliche Anordnung wie im Blattstiel. Sie erschöpfen sich allmählich in dem Maasse, als man der Blattspitze sich nähert. Zunächst büssen sie ihre Sklerenchymbelege ein, und die anschliessenden Elemente der Stärkescheide werden unkenntlich. Die abgehenden Seitenzweige erscheinen immer schwächer, und mit sinkendem Durchmesser der Gefässbündel nimmt die Zahl der Elemente im Gefäss- und Siebtheil, sowie die Zahl der das Gefässbündel, besonders von der Gefässtheilseite umscheidenden, gestreckt parenchymatischen Elemente ab. Innerhalb der letzten Auszweigungen schwellen die Geleitzellen über den Durchmesser der Siebröhren an, worauf der Siebtheil erlischt. Die Schraubentracheïden setzen noch eine kurze Strecke weit den Gefässtheil fort. Sie schwellen dabei etwas an und können auch die Zahl ihrer Elemente vermehren; dann endigen sie blind. Ganz kurze Seitenzweige bestehen unter Umständen nur aus Schraubentracheïden. Während über und unter allen etwas stärkeren Gefässbündeln das chlorophyllhaltige Mesophyll noch unterbrochen ist, schliesst es um die feinsten Gefässbündelzweige allseitig zusammen und bildet eine Chlorophyllscheide aus gestreckten, lückenlos verbundenen Zellen, welche ihre Chlorophyllkörner an den von dem Gefäss-

bündel abgekehrten Seiten tragen. Besondere Resistenzfähigkeit gegen Schwefelsäure zeichnet die Elemente dieser Mesophyllscheiden ebenso wenig aus, wie die gestreckt parenchymatischen Elemente, welche die stärkeren Gefässbündel umgeben und dem Centralcylinder zuzurechnen sind. — In den Blattzähnen lösen sich das stärkere mittlere und die beiden seitlichen Bündel pinselartig zwischen den kleinzelligen, lückenlos verbundenen Epithemzellen auf. Die Epidermis über diesem Epithem führt nur spärliche Spaltöffnungen mit geschlossenem Spalt, ohne Athemhöhlen. In den Maschen des Blattgewebes sind zahlreiche Raphidenbündel in gestreckten Schleimzellen vertheilt; dieselben nehmen in den Blattzähnen an Zahl noch zu, doch an Grösse ab.

Die Holzstränge von Aristolochia Sipho werden von Gefässen, Tracheïden, Holzparenchym und den, an letzteres sich anschliessenden Ersatzfasern gebildet. Zwischen den weiten Gefässen, welche für diese wie für andere Schlingpflanzen charakteristisch sind, und den engsten Tracheïden lassen sich auch hier alle Uebergänge auffinden. Die engsten Gefässe und Tracheïden liegen im Spätholz. Alle Gefässe und Tracheïden sind dicht getüpfelt und ohne Schraubenbänder. Enge Gefässe und Tracheïden bilden die Hauptmasse des Holzes. Die Gefässe werden, mehr oder weniger vollständig, doch vornehmlich an ihrer cambiumwärts gekehrten Seite, von abgeflachten Holzparenchymzellen, stellenweise von Ersatzfasern umgeben; ausserdem grenzen abgeflachte Tracheïden an dieselben. Das Holzparenchym und die Ersatzfasern sind durch Mittelformen verbunden. Beide führen zeitweise Stärke. Ueberall findet sich dieses Gewebe auch zwischen den Tracheïden, vornehmlich in tangentialen Bändern vertheilt. Seine Elemente stehen in mehr oder weniger auffälliger gegenseitiger Verbindung und schliessen andererseits an die Markstrahlen an. Das Frühholz ist im Verhältniss reicher an denselben als das Spätholz, doch nehmen sie, ähnlich wie wir dies in mehreren anderen Fällen schon gesehen, in den letzten, durch ihre regelmässige Anordnung und Abflachung auffallenden Schichten des Spätholzes wieder zu. Diese lebendigen Elemente der Holzstränge sind hier dünnwandiger als die Gefässe, vornehmlich aber dünnwandiger als die Tracheïden.

Letztere, welche die Hauptmasse des Holzkörpers bilden, haben hier auch für die mechanische Festigkeit desselben zu sorgen, während die eigentliche Holzfaser ganz fehlt. Auch die engsten Tracheïden behalten im Holze von Aristolochia ihren tracheïdalen Charakter. Dass auch hier die trachealen und tracheïdalen Elemente unter einander durch zweiseitig behöfte Tüpfel, mit den lebendigen Elementen durch einseitig behöfte Tüpfel zusammenhängen, ist auf Grund aller unserer Erfahrungen schon selbstverständlich. Es wiederholt sich hier auch die Erscheinung, dass in den letzten abgeflachten Schichten der Jahresringe die Tüpfelung vermehrt wird und dass sie auf den tangentialen Wänden dort wesentlich überwiegt. An die flachen tracheïdalen und lebendigen Elemente dieser Jahresgrenze schliessen dann die grossen Gefässe des nächsten Frühjahrs an.

An ihrer inneren Kante verjüngen sich die Holzstränge rasch zu den primären Gefässtheilen, deren enger werdende Gefässe schliesslich von dünnwandigem, unverholztem Vasalparenchym umgeben erscheinen. In dieses Parenchym sind auch die ausser Function gesetzten Vasalprimanen eingebettet. Die relativ sehr verbreitete Erscheinung, dass das primäre Gefässtheilparenchym unverdickt bleibt, oft erst spät verholzt oder sogar unverholzt bleibt, hat neuerdings Raimann[1]) zu einer besonderen Abhandlung veranlasst und ihn auch bestimmt, dieses Gewebe mit einem eigenen Namen „intraxylaeres Cambiform" zu belegen. Die Function dieses Gewebes, meint Raimann, sei unbekannt, wahrscheinlich liege in demselben ein reducirtes Organ vor.

Das grosszellige Mark wird mit fortschreitendem Dickenwachsthum des Holzkörpers durch diesen flachgedrückt. Es geschieht dies in einer der Mediane des zugehörigen Blattes entsprechenden Ebene. Zunächst ist es nur ein mittlerer Gewebsstreifen des Markes, der dieses Schicksal erleidet, weiterhin nimmt aber die Zahl der zerdrückten Elemente zu den beiden Seiten desselben zu, und schliesslich bleibt unzerdrücktes Markgewebe nur in der Markkrone erhalten. Die Holzstränge rücken auf diese Weise mit ihren inneren Kanten zusammen, und wird

1) Ueber unverholzte Elemente in der innersten Xylemzone der Dicotyledonen. Sitzber. d. Wiener Akad., Bd. XCVIII, Abth. I, 1889, p. 40.

auch ihr primärer Gefässtheil bis an die grösseren, in verholztes Gewebe eingebetteten, getüpfelten Gefässe hin zerdrückt. In den collabirten Marktheilen ist Calciumoxalat in Drusen abgelagert, die am Leben verbliebenen Elemente der Markkrone führen zeitweise Stärke. In dieser Markkrone münden die primären, relativ sehr breiten Markstrahlen. Die secundären Markstrahlen, deren Bildung unter Umständen schon im ersten Jahre beginnen kann, zeichnen sich ebenfalls durch ihre Breite aus. Es ist überhaupt eine bei Schlingpflanzen nicht eben seltene Erscheinung, auf welche auch Westermaier und Ambronn bereits hingewiesen haben [1]). Dass bei Aristolochia, wie bei Vitis, die Markstrahlen sich in continuirlichen Platten innerhalb des Holzkörpers fortsetzen, wurde schon früher erwähnt. Die Länge der weiterhin eingeschalteten secundären Markstrahlen nimmt aber mit dem Alter des Stammes ab, so dass beispielsweise in einem 3,5 cm dicken Stamme die zuletzt erzeugten Markstrahlen vielfach nicht 0,5 cm erreichten. Ebenso wie bei Vitis fand ich bei Aristolochia die fortlaufenden Markstrahlen schräg von Strängen aus Tracheïden, Holzparenchym und auch weiten Gefässen durchsetzt. Dabei liessen sich ähnliche Beziehungen dieser Stränge zu den Elementen des Markstrahls, wie wir sie bei Vitis kennen gelernt, constatiren. Die Markstrahlzellen von Aristolochia sind relativ dünnwandig. Sie führen auch innerhalb des Holzkörpers, im Gegensatz zu Vitis, Calciumoxalat. Manche Zellreihen werden für diese Ablagerung bevorzugt, zeigen sich übrigens auch durch stärkehaltige Zellen unterbrochen. Die krystallführenden Markstrahlzellen sind hier im Allgemeinen etwas grösser, sie enthalten je eine Krystalldruse. Zahlreiche andere, den Krystallzellen ähnliche Elemente führen Luft [2]). Innerhalb dieses heterogenen Gewebes bilden die stärkeführenden Markstrahlzellen ein zusammenhängendes Ganze, dessen Vertheilung aus tangentialen Längsschnitten am besten erhellt. Die zum Theil nicht unbedeutend erweiterten Intercellularen zeigen vornehmlich radialen Verlauf. Sie halten sich an das Innere des Markstrahls. Während die Holzstränge nach der Stammmitte zusammenrücken und das Mark zer-

1) Beziehungen zwischen Lebensweise und Structur der Schling- und Kletterpflanzen, Flora 1881, p. 427.

2) Vergl. auch Sanio, Bot. Ztg. 1863. p. 127.

quetschen, müssen sie sich auch seitlich einander nähern, wodurch ein Druck auf die dem Marke nächsten Abschnitte der primären Markstrahlen ausgeübt wird. Es wird in Folge dessen auch innerhalb dieser Abschnitte eine mittlere Gewebslamelle zerdrückt. — In der Nähe des Cambiums, sowohl nach der Holz- als nach der Bastseite, zeigen sich einzelne Markstrahlzellen mit einem gelben ätherischen Oele erfüllt, das aus den älteren Theilen der Markstrahlen wieder schwindet.

Man stellt fest, dass die Gefässe an keiner Stelle direct den lufthaltigen Zellen der Markstrahlen anliegen. Es sind vielmehr die Gefässe stets durch lebendige, meist stärkehaltige, oft stark abgeflachte Elemente gegen die Markstrahlen abgegrenzt.

Die Markstrahlzellen von Aristolochia zeichnen sich dadurch aus, dass sie unverholzt sind. Letzteres Verhalten wird von Van Tieghem [1]) als eine Eigenschaft hervorgehoben, welche verschiedenen Schling- und Kletterpflanzen zukommt, wobei Menispermum, Aristolochia Sipho und Atragene als Beispiel angeführt werden. Den beiden von uns bereits behandelten Kletter- respective Rankenpflanzen Hedera und Vitis kommen verholzte und ziemlich stark verdickte Markstrahlen zu.

Der secundäre Siebtheil von Aristolochia Sipho besteht aus Siebröhren sammt Geleitzellen und aus Bastparenchym, während ihm Bastfasern und selbst auch Steinzellen vollständig abgehen. Jeder der weiten Siebröhren kommt im Querschnitt eine Geleitzelle zu. Diese Geleitzelle nimmt die innere, das heisst dem Cambium zugekehrte Seite der Siebröhre ein, ohne jedoch in den meisten Fällen deren ganze Breite zu erreichen. Stellenweise stossen Siebröhren mit ihren radialen Wänden an einander; der Hauptsache nach werden sie durch Bastparenchym getrennt, das im Herbst mit Stärke erfüllt ist. Wie v. Janczewski bereits angegeben hat, theilt sich das Siebröhrenglied, nachdem es die Geleitzellinitiale abgegeben, nicht weiter, daher sämmtliche Siebplatten geneigt sind; die Geleitzellinitiale wird in zwei bis vier Geleitzellen, durch quere Scheidewände, zerlegt [2]). Ebenso gehen zwei bis vier übereinander liegende Bastparenchymzellen durch quere Theilung

1) Traité de Bot., II. Aufl., p. 816.
2) l. c. p. 302.

aus einer Cambiumzelle hervor. Ich habe constatirt, dass auch bei Aristolochia Sipho die Geleitzellen aufeinander folgender Siebröhrenglieder mit ihren Enden für gewöhnlich nicht auf einander treffen. Vielfach ist die Geleitzellenreihe auch kürzer als das zugehörige Siebröhrenglied. Die Geleitzellen können somit auch hier nicht der Leitung auf weitere Strecken dienen. Es ist aber dafür gesorgt, dass sie die den Siebröhren entnommenen Stoffe an das Bastparenchym übermitteln können. — In jeder Vegetationsperiode wird, wie v. Janczewski (l. c.) schon richtig angiebt, durch die Thätigkeit des Cambiums, zunächst eine zusammenhängende, einfache bis doppelte Schicht von Bastparenchymzellen gebildet, dann erst folgt das aus Siebröhren, Geleitzellen und Bastparenchym bestehende Gewebe. Letzteres wird nach Ablauf etwa eines Jahres zerdrückt, während die Bastparenchymstreifen eine fast unbegrenzte Reihe von Jahren erhalten bleiben und sich im Herbst dauernd mit Stärke füllen. Die sehr regelmässige, annähernd mediane Einschaltung in die Holz- und Baststränge bringt es mit sich, dass die nach aussen aufeinander folgenden Bastparenchymbänder regelmässig je zwei nächst innere umfassen. Die zerdrückten Gewebe werden durch den Dickenzuwachs des Stammes immer stärker gedehnt und dem entsprechend dünner, während die Bastparenchymbänder durch Zelltheilung der Zunahme des Stammumfanges folgen. Die äusseren Siebröhren der noch thätigen Siebröhrenzone haben bereits dicke, weisse Callusbelege auf den Siebplatten, respective auch an seitlichen Siebtüpfeln, aufzuweisen. An den äussersten kann der Callus sogar schon in Auflösung begriffen sein, dieselben somit in den passiven Zustand übergehen; die innersten Siebröhren sind hingegen noch in der Entwicklung begriffen und durch alle Altersstufen mit den callusbildenden verbunden. Wie v. Janczewski zunächst angab [1]), und zuvor schon erwähnt wurde, ist die Callusbildung bei Aristolochia nur an eine bestimmte Altersstufe der Siebröhren und nicht an die Jahreszeit gebunden. Ebenso kann ich die Angabe v. Janczewski's [2]) nur bestätigen, dass die Siebröhren zu keiner Zeit Stärke führen und überhaupt relativ wässerigen Inhalt besitzen. Die thätigen Geleitzellen zeichnen

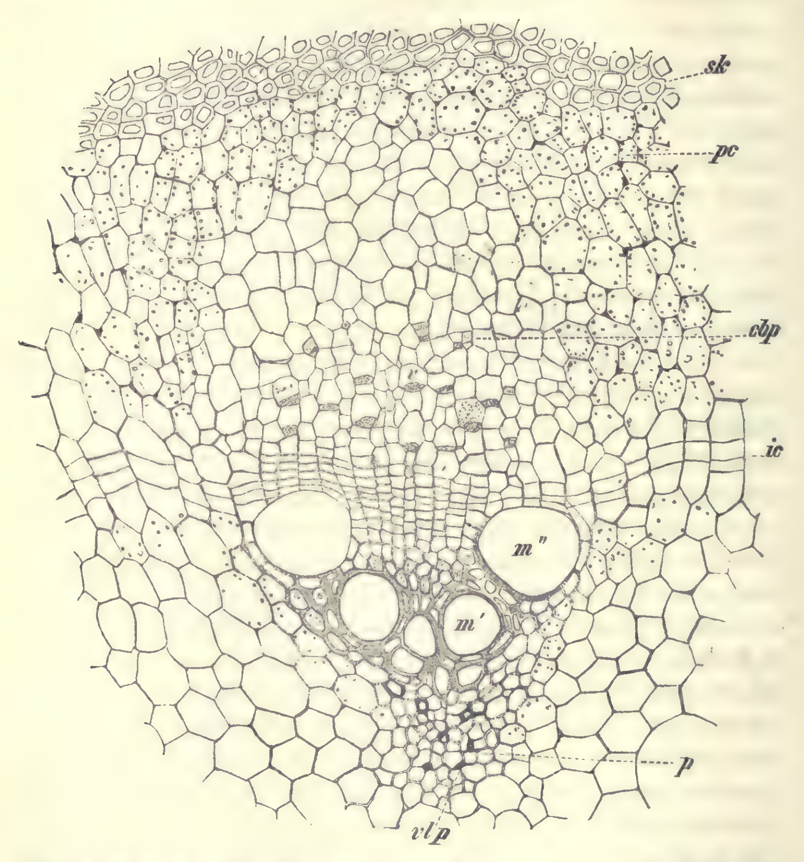
1) l. c. p. 307.
2) Ebendas. p. 305.

sich durch körnigen Inhalt aus. In den Siebröhren waren in der Nähe der Siebplatten, doch auch im protoplasmatischen Beleg der Seitenwände, Eiweisskrystalle in Octaederform zu beobachten. Dieselben werden mit Jod gelb gefärbt; sie entsprechen Leucoplasten, deren Substanz auskrystallisirte. Mit Jodlösung fixirte Präparate, die der Einwirkung von Anilinblau ausgesetzt wurden, zeigten die Eiweisskrystalle dunkelblau gefärbt. In solchen Präparaten erscheint auch der Inhalt der Geleitzellen sehr intensiv tingirt, und es ist nun ein Leichtes, festzustellen, dass die Geleitzellen nicht auf einander treffen. Die frischen Schnitte zeigten Protoplasmaströmung in den Cambiumzellen und den parenchymatischen Elementen, ausgeprägte Rotation in den Geleitzellen.

Auf die Markstrahlabschnitte der Bastzone ist nicht weiter einzugehen, da dieselben in ihrem Bau mit demjenigen des Holzes übereinstimmen. Die geringe Anzahl von Markstrahlen lässt es hier noch nothwendiger als bei Vitis erscheinen, dass auf anderem Wege den Geleitzellen ihr Inhalt entnommen und direct dem Cambium, andererseits den Markstrahlen und durch deren Vermittlung dem Holzkörper zugeführt wurde. Dieses besorgt das zahlreiche, nach allen Seiten hin zusammenhängend entwickelte Bastparenchym. Die Markstrahlen werden auch im Bast von Aristolochia von queren Brücken der benachbarten Basststränge durchsetzt. Es ist jedenfalls nicht ohne Interesse, zu constatiren, dass so verschiedenen Familien angehörende Pflanzen wie Vitis und Aristolochia, bei entsprechender Vertheilung des Gewebes, auch solche bis ins Einzelne gehende Uebereinstimmungen der anatomischen Beziehungen dieses Gewebes zeigen. Dass es sich hierbei um Analogien und nicht um Homologien des Baues handelt, braucht nicht erst hervorgehoben zu werden.

Eine Grenze zwischen den primären Theilen der Gefässbündel und dem secundären Zuwachs lässt sich auch bei Aristolochia Sipho nicht ziehen. (Vergl. den Holzschnitt auf S. 262.) Wie schon erwähnt wurde, sind hier die Vasalprimanen und die zunächst anschliessenden Gefässe in reichliches Vasalparenchym eingeschaltet. In ähnlicher Weise findet man an dem Aussenrande des Siebtheils die Cribralprimanen in Cribralparenchym eingestreut. Es sind das kleine Gruppen enger Siebröhren und Geleitzellen, deren Natur besonders dort deutlich

wird, wo der Schnitt eine Callusplatte streifte. Diese Elemente, in welche die Gefässprimanen eingebettet sind, erscheinen weit-



Querschnitt durch einen diesjährigen, jungen Zweig von Aristolochia Sipho, ein Gefässbündel nach begonnener Cambiumthätigkeit zeigend. *p* Vasalparenchym an dem Innenrande des Gefässtheils, *vlp* Vasalprimanen, *m'* und *m''* behöft getüpfelte Gefässe, *ic* Interfascicularcambium, in welches sich das Fascicularcambium fortsetzt, *v* Siebröhre, *cbp* Cribralprimanen, *pc* Gewebe des Pericykels, *sk* innerer Theil des Ringes aus Sklerenchymfasern. Vergr. 130.

lumiger als das spätere Cribralparenchym. Sie zeigen im Querschnitt dasselbe Aussehen wie die seitlich an das Gefässbündel anstossenden Grundgewebselemente und setzen sich nur bei schwacher Vergrösserung und etwas dickeren Schnitten deutlich gegen letztere ab. Dann stellt man fest, dass an der Siebtheilseite eines jeden Bündels eine ziemlich starke Gewebsmasse liegt,

die sich durch Mangel an Chlorophyll und Intercellularen von dem weiterhin angrenzenden, auch nicht eben chlorophyllreichem Gewebe unterscheidet. Es geht ohne scharfe Grenze in letzteres über, oft unregelmässig strahlig in dasselbe eindringend. Diese chlorophyllfreien Elemente sind auch etwas gestreckter als die chlorophyllhaltigen, sonst parenchymatisch wie jene und auch nicht stärker verdickt. Der thätige primäre Siebtheil hat bereits die nämliche Zusammensetzung wie der secundäre. Mit Beginn der Anlage des ersten grossen Tüpfelgefässes im Gefässtheil erfolgt auch die Ausbildung des Interfascicularcambiums in den Grundgewebselementen, in einer hier überaus typischen und übersichtlichen Weise. An die starke, parenchymatische Zone, welche den Bündelring umgiebt, grenzt der Sklerenchymring, von lang gestreckten Sklerenchymfasern gebildet. An den Ring schliesst die Stärkeschicht an, deren Elemente durch mit Stärke vollgepfropfte Chlorophyllkörner ausgezeichnet sind und nur relativ geringe Höhe besitzen. Die Stärkescheide bewahrt zunächst ihren Stärkegehalt, auch nachdem die Sklerenchymfasern ihre volle Wandverdickung erhalten haben. Diese Stärkescheide giebt die innere Grenze der primären Rinde an, und ist somit die Sklerenchymfaserscheide und das an die Gefässbündel grenzende, dieselben von der Sklerenchymfaserscheide trennende Gewebe als Pericykel zu deuten [1]). In diesem Falle liesse sich auch vorstellen, dass es der Pericykel noch ist, in welchem das Interfascicularcambium entsteht [2]). Diese Annahme hat freilich nur theoretische Bedeutung, da der Pericykel ohne Grenze in das innere Grundgewebe übergeht. Sie wurde veranlasst durch die theoretische Erwägung, dass in den mit Dickenwachsthum begabten Wurzeln nach Anlage der Cambien auf der Innenseite des Siebtheils diese Cambien zu einem Ringe durch die Thätigkeit des Pericykels (Pericambiums) ergänzt werden [3]).

Auf die Stärkescheide folgen nach aussen die übrigen Gewebe der primären Rinde, zunächst chlorophyllhaltiges, mit lufterfüllten Intercellularen versehenes Parenchym, dann chloro-

---

1) Vergl. auch Van Tieghem, Traité de Botanique, p. 744.

2) Van Tieghem, Canaux sécr. des plantes, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XI, 1881, p. 296, und Morot, l. c. p. 237.

3) Vergl. bei Morot, l. c. p. 267.

phyllhaltiges Collenchym, hierauf die Epidermis. An den Stellen, wo Spaltöffnungen liegen, dringt das innere, chlorophyllreiche Parenchym bis zu jenen vor.

Das Mark besteht auf diesem Zustande nur aus lebenden Zellen, unter welchen die Calciumoxalatdrusen führenden durch geringere Grösse auffallen. Das Mark besitzt kleine, lufthaltige Intercellularen, die auch im Pericykel zwischen den Bündeln vertreten sind, in dem chlorophyllfreien Gewebe an der Cribralseite der Bündel, sowie auch dem übrigen die Bündel unmittelbar umfassenden Grundgewebe fehlen. In dem primären Gefäss- und Siebtheil führen einzelne Parenchymzellen, respective längere Zellreihen des Parenchyms, gelbes, ätherisches Oel. Aehnliche Oelbehälter sind im Pericykel und auch in der Rinde zerstreut.

Die Stärkescheide beginnt sich zu gleicher Zeit mit der Differenzirung der Gefässbündelprimanen zu markiren. Sie ist zunächst noch weniger, als es später der Fall, gegen das angrenzende chlorophyllreiche Rindengewebe abgesetzt, und schliessen ihre Zellen nicht einmal intercellularfrei zusammen.

Die Stärkescheide bleibt noch im zweiten Jahre erkennbar, zwischen ihr und dem Collenchym haben sich die Rindenzellen radial gestreckt und sind der Mehrzahl nach lufthaltig geworden, so dass nur Brücken aus lebenden, chlorophyllhaltigen Zellen zwischen Collenchym und Stärkescheide ausgespannt bleiben. Diese Zellen führen zum Theil grosse Kalkdrusen. Auch das ganze Grundgewebe des Centralcylinders ist bereits mit lufthaltigen Zellen untermischt, so auch das Gewebe, das die Bündel nach aussen stützte. Hier erscheint der Siebtheil jetzt durch seine zerdrückten und gedehnten peripherischen Elemente abgeschlossen. Der Gefässtheil der Bündel ist durch eine luftfrei gebliebene Zelllage umgrenzt. Kalkdrusen treten überall in dem Grundgewebe, die Markstrahlen mit inbegriffen, auf. Im Herbste erscheinen alle lebenden Zellen des Grundgewebes, die Krystalldrusen führenden ausgenommen, mit Stärke erfüllt. Nicht ohne Interesse ist es, zu constatiren, dass auch die weiteren Sklerenchymfasern diese Füllung zeigen.

Im Frühjahr des zweiten Jahres wird der erste ausdauernde Ring von Bastparenchymzellen im secundären Zuwachs angelegt und dann alljährlich im Frühjahr ein neuer hinzugefügt. Im dritten Jahre beginnt meist die Zerklüftung des Sklerenchymfaserringes und mit ihm der noch unterscheidbaren Stärkescheide. Den

Angaben de Bary's entsprechend [1]) wölben und schieben sich angrenzende Parenchymzellen in die Lücken, welche durch Sprengung des Sklerenchymringes entstehen ein und füllen dieselben, sich dauernd durch Theilung vermehrend, mit Gewebe aus. Dieses Gewebe liefert bei Aristolochia tomentosa an vielen Orten Steinzellen als Producte, die so den mechanischen Ring noch Jahrelang, so lange als sein Schutz erwünscht, mehr oder weniger vollständig ergänzen.

Die Korkbildung beginnt etwa am Schluss des dritten Jahres und zwar zunächst an vereinzelten Stellen mit Lenticellbildung. Das Phellogen entsteht in der äussersten, an die Epidermis grenzenden Collenchymschicht. Erst gegen Ende des vierten Jahres wird die Korkschicht einigermaassen zusammenhängend.

Das Collenchym folgt wesentlich länger wie der Sklerenchymcylinder der passiven Dehnung. Auch werden die Lücken dieses Collenchymmantels an denjenigen Stellen, an welchen die grüne Rinde bis zu den Spaltöffnungen zunächst reicht, frühzeitig durch collenchymatische Verdickung jener Zellen ausgefüllt. Die Sprengung des Collenchymcylinders erfolgt dann an einzelnen Stellen durch tangentiale Dehnung der collenchymatischen Elemente und ihren Eintritt in die Theilung. Dieser Vorgang folgt erst der Ausbildung des Periderms an den entsprechenden Stellen. Es ist leicht zu constatiren, dass auch die Sklerenchymfasern des zersprengten Ringes sich im Winter mit Stärke füllen. Ich stellte dies zunächst an achtjährigen Zweigen von Aristolochia tomentosa fest, und dass diese Eigenschaft sehr lange andauern muss, das lehrte mich ein 28-jähriger Stamm derselben Pflanze.

Zwischen Aristolochia Sipho und A. tomentosa, die im Uebrigen sehr nah übereinstimmen, ist der Unterschied vorhanden, dass die erstere nur dünnwandige Elemente an den gesprengten Sklerenchymring liefert, die letztere Steinzellen in dieses Gewebe einschaltet. Auch erfährt die primäre Rinde bei Aristolochia tomentosa eine weit schwächere Entwicklung und ist ihr Kork weniger regelmässig geschichtet, während bei Aristolochia Sipho im Periderm breite Streifen weitlumiger Elemente mit schmalen, englumigen scharf abwechseln. Das

---

1) Vergl. Anat., p. 558.

Korkcambium bildet bei letzterer nach innen Phelloderm, in dem ebenfalls eine Abwechslung von weiten, luftführenden und engen, inhaltsreichen Zellen gegeben ist. Die Verbindung der inhaltsreichen Schichten des Phelloderms und der Korkcambiumzone mit den inneren Rindentheilen wird durch Brücken lebender Zellen unterhalten. Aristolochia tomentosa fehlt die Phellodermbildung.

Selbst an dem ältesten Aristolochia-Stamme, den ich untersuchen konnte, einem Stamme von Aristolochia tomentosa, der 28 Jahre alt, einen Durchmesser von 4 cm erreicht hatte, war Borkenbildung nicht eingetreten. Daraus erklärt sich auch die Erscheinung, dass bei Aristolochia die Nebenproducte des Stoffwechsels auch in die Holzstrahlen eingelagert werden. Denn nur dort, wo Rindenstrahlenden mit der Borke abgeworfen werden, wird es von erheblichem Vortheil sein, diese allein mit den Nebenproducten des Stoffwechsels zu belasten. Auch war an dem 28-jährigen Stamme zu constatiren, dass der Holzkörper bis zur Mitte lebendige Elemente in der ursprünglichen Anzahl führte, und nur vereinzelte Gefässe sich in den innersten Holztheilen durch Thyllen verstopft hatten. Andererseits waren in der Peripherie der Bastzone die Elemente fortdauernd gestreckt, die todten Siebtheile dort zu immer schmäleren Streifen ausgedehnt, die Bastparenchymlagen durch Theilungen ergänzt, auch stellenweise durchbrochen worden. Diese Bastparenchymlagen müssen hier fast unbegrenzt functionsfähig bleiben, denn selbst in dem erwähnten 28-jährigen Stamme fand ich die äussersten noch mit Stärke erfüllt.

Wir kehren jetzt zu solchen Fällen zurück, die sich am nächsten an Magnoliaceen und Verwandte hätten anreihen lassen, die jetzt aber erst ihre volle Würdigung werden erfahren können. — Quercus figurirt mit Daphne und Liriodendron unter denjenigen Holzgewächsen, für welche Sanio den relativ grössten Hof an den Tüpfeln der „Holzfasern“ angiebt[1]). Da musste für uns, auf Grund der gesammelten Erfahrungen, die Frage entstehen, ob es sich hier wirklich um Holzfasern, die wir von dem Holzparenchym ableiteten, oder nicht vielmehr um Fasertracheïden, die von Tracheïden abstammen, handle.

1) Bot. Ztg. 1863, p. 102.

Trotz der relativ complicirten Bilder, welche das Eichenholz bietet, dürfte die hier folgende Schilderung auch ohne Figuren verständlich sein, da ja das Eichenholz neuerdings in den Kny'schen, überall verbreiteten Tafeln eine sehr gute Darstellung gefunden hat [1]).

Die Untersuchung stellte ich vornehmlich an einem 54-jährigen Stamme von Quercus palustris Duroi, der am 3. Januar gefällt worden war, an. Die Holzstränge zeigten sich, früheren Angaben gemäss, aufgebaut: aus Gefässen, Tracheïden, Holzparenchym und den als „Holzfasern“ bezeichneten Elementen. Eine Anzahl Gefässe zeichnet sich durch die für Quercus charakteristische bedeutende Weite aus. Diese Gefässe halten sich vornehmlich im Frühholz. Die weiten Gefässe werden dort, wo sie nicht an Markstrahlen grenzen, respective von solchen seitlich umfasst werden, und wo sie nicht ein Holzparenchymband berühren, von Tracheïden umschlossen. Diese an die grossen Gefässe grenzenden Tracheïden sind entsprechend abgeflacht, zeichnen sich ausserdem durch ihre geringe Höhe und ihren unregelmässigen Verlauf aus. Sie bilden, der Gefässwand folgend, stark verbogene Linien. Wie kaum erst hervorgehoben zu werden braucht, sind diese abgeflachten Tracheïden mit den Gefässen durch zahlreiche zweiseitige Hoftüpfel verbunden. Diese Hoftüpfel, sowie auch die übrigen aus den Gefässen nach dem Holzparenchym und den Markstrahlzellen führenden Tüpfel, sind hier nicht bis zur Berührung an einander gedrängt, vielmehr getrennt und daher auch abgerundet; dessen ungeachtet ist kein tertiäres Schraubenband entwickelt. Andererseits fällt die relativ bedeutende Dicke der Gefässwände auf. Nur ausnahmsweise sieht man hier zwei Gefässe in seitlichem Contact. Namentlich stehen die engeren Gefässe, die im Folgeholz angelegt werden, weit getrennt von einander. Doch sind diese Gefässe in Tracheïden eingebettet und der Zusammenhang unter denselben durch jene Elemente somit hergestellt. Diese, durch ihre grössere Weite schon im Querschnitt gegen die „Holzfasern“ sich zeichnenden Tracheïden verbinden die grossen Gefässe des Frühholzes zu tangentialen Bändern und mit jenen

1) Abtheilung VII, dazu der Text, p. 301; zu vergleichen wäre auch Abromeit, Ueber die Anatomie des Eichenholzes, in Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 209.

Bändern die später hinzukommenden, relativ engen Gefässe in mehr oder weniger radialer Richtung. Wie den Gefässen, gehen auch diesen Tracheïden hier die Schraubenbänder ab, sie sind nur mit Hoftüpfeln versehen. Schraubenbänder fehlen hier somit in den Elementen des secundären Zuwachses vollständig. Die englumigen „Holzfasern“ sind besonders in stärkeren Jahresringen vertreten, während sie in schwächeren nur eine schmale äussere Zone bilden. Zwischen den weitesten, zuvor schon als Tracheïden erkannten Elementen und diesen engen finden sich aber alle Uebergänge. Auch diese engsten Elemente sind hier plasmafrei und behöft getüpfelt. Mit abnehmender Weite wächst ihre Wanddicke; sie werden zugleich länger und tüpfelärmer. Sie spitzen sich zu und nehmen ganz die Gestalt von Holzfasern an, doch behalten ihre Tüpfel den Hof und weisen bis zuletzt einen Torus an ihren Schliesshäuten auf. Es handelt sich hier, in einem Worte, um eine Arbeitstheilung, ganz ähnlich jener, in welche wir das Holzparenchym haben eintreten sehen. Dort eine Trennung in stärkeleitende, respective -speichernde Elemente einerseits, in mechanische oder doch mechanischen Functionen vorwiegend obliegende Elemente andererseits, hier die Scheidung in wasserleitende und in ausschliesslich, oder doch vorwiegend, mechanische Elemente. Wir haben eine Trennung der letzteren Art schon bei den Magnoliaceen verfolgen können, hier kehrt sie in ausgeprägter Form wieder. Wie in so zahlreichen anderen Fällen bringt es die Uebereinstimmung in der Function schliesslich mit, dass die vom holzparenchymatischen und vom tracheïdalen Gewebe abzuleitenden faserförmigen Elemente sich in ihrer Gestalt und Tüpfelung schliesslich auffallend gleichen. Ein noch vorhandener kleiner Hof, sowie schraubenförmige Verdickung einerseits, Mangel dieser Charaktere sowie das eventuelle Auftreten gallertartiger Verdickungsschichten andererseits, kann zur Unterscheidung von faserförmigen Tracheïden und Holzfasern in manchen Fällen dienen, kann aber kein oberstes Criterium abgeben. Denn es ist wohl denkbar, dass, wie die schon constatirten, auch alle anderen Eigenschaften des einen Gewebes schliesslich durch Repräsentanten des anderen erworben werden. So giebt denn auch in der That Sanio an[1]), bei den „behöft

1) Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg., 1863, p. 105.

getüpfelten, lufthaltigen Libriformfasern“ von Quercus die gallertartige Verdickungsschicht beobachtet zu haben. Nur eine vergleichend-morphologische Betrachtung führt somit zum Ziel, und diese ist es, die mich bestimmt, die faserförmigen Elemente von Quercus dem tracheïdalen System zuzuzählen. Solche faserförmig entwickelten Tracheïden sollen hier aber weiterhin als „Fasertracheïden“ bezeichnet werden [1]). Andererseits wird es sich empfehlen, schlauchförmig gestreckte, gefässartige Tracheïden als Gefässtracheïden zu unterscheiden.

Dass wir es in den Tracheïden und Fasertracheïden der Eiche wirklich mit einem einheitlichen System zu thun haben, das zeigt uns auch die Art der Verbindung aller dieser Elemente unter einander. Echte Holzfasern fanden wir stets so gut wie vollständig, in Folge mangelnder Tüpfelverbindung, von dem trachealen und tracheïdalen System getrennt. Hier ist in der Vereinigung der engsten Elemente mit den weitesten überall eine Continuität gegeben, eingeschränkt nur durch die abnehmende Häufigkeit und die sinkende Grösse der Tüpfel. Die einheitliche Grundlage des ganzen Systems ergiebt sich auch daraus, dass es in allen seinen Theilen von Holzparenchym durchsetzt ist, während solches zwischen den Holzfasern, soweit diese nur Luft führen, zu fehlen pflegt. Hier läuft das Holzparenchym in starken tangentialen Bändern auch zwischen den stärker verdickten Fasertracheïden, wie dies besonders auffallend dort wird, wo die aus jenen Elementen bestehende Zone stark entwickelt ist. Die letzten Schichten eines jeden Jahresringes bestehen aus besonders regelmässig ausgebildeten, in radialen Reihen angeordneten, stark verdickten und abgeflachten Fasertracheïden und sind stets reich an zwischen die Fasertracheïden eingeschalteten, schwächer verdickten Holzparenchymzellen. An diesen abgeflachten Fasertracheïden werden die Hoftüpfel wieder zahlreich, zugleich auf die breiteren, tangentialen Flächen eingeschränkt. An diese Elemente setzen die im Verhältniss weiten Tracheïden der nächsten Zuwachszone, zum Theil auch direct weite Gefässe an, wobei die Com-

---

1) Die Unterscheidung gefässähnlicher und faserförmiger Tracheïden schon bei de Bary, Vergl. Anat., p. 496. Vergl. hierzu auch Sanio, Vergl. Unters. über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 115.

munication ebenfalls durch zahlreiche Hoftüpfel hergestellt ist. Durch diese ist somit die Verbindung der aufeinander folgenden Jahresbildungen auch hier gegeben. — Die Holzparenchymmassen, die in meist einschichtigen Bändern, doch auch in isolirten Zellfäden die Holzstränge durchsetzen, hängen mit den Markstrahlen überall zusammen, so dass sie mit diesen vereint eine stärkeleitende Gewebeeinheit im Holzkörper bilden. Die Holzparenchymzellen weisen den typischen Bau mit gegewohnter Tüpfelung auf und zeigen sich auch mit den engsten Fasertracheïden durch halbbehöfte Tüpfel verbunden. Letzteres ist besonders an den abgeflachten Elementen der Jahresgrenzen zu constatiren. Uebergänge zwischen Holzparenchym und den Fasertracheïden fehlen hier naturgemäss.

Die grosse Mehrzahl der Markstrahlen ist, wie tangentiale Längsschnitte am besten zeigen, einschichtig, besitzt dabei verschiedene Höhe; zwischen den einschichtigen Markstrahlen sind vielschichtige bis zu bedeutender Grösse eingeschaltet. In den vielschichtigen zeigen sich die inneren Elemente fast faserförmig gestreckt. Im übrigen verhalten sich hier alle Markstrahlzellen annähernd gleich, und streifen einschichtige Markstrahlen ein Gefäss, so sind sie in ihrer ganzen Höhe annähernd gleich stark getüpfelt. Dabei gehen den einschichtigen Markstrahlen die Intercellularen nicht ab, wenn sie an denselben, sowie an den Seiten mehrschichtiger Markstrahlen auch fehlen können. Im Innern der mehrschichtigen Markstrahlen sind sie für alle Fälle stärker entwickelt. Auch in der Höhe weichen die randständigen Zellreihen einschichtiger Markstrahlen kaum von den inneren ab und zeigen die Elemente aller dieser Zellreihen annähernd übereinstimmende Länge. An den Gefässwänden führen die Markstrahlzellen ziemlich zahlreiche und weite Poren und enthalten meist keine oder nur wenig Stärke. Die Wandverdickung aller Markstrahlzellen der Eiche ist eine verhältnissmässig bedeutende, und die nach den Intercellularen führenden Poren daher auffallend deutlich[1]). Die starke seitliche Ablenkung, welche einschichtige Markstrahlen durch grosse Gefässe vielfach erfahren, bringt es mit sich, dass der Markstrahl dann fast eine ganze Hälfte des Gefässes umfasst.

Der Bast von Quercus palustris zeigt Bänder von Sieb-

1) Vergl. auch Abromeit, l. c. p. 219.

röhren nebst Geleitzellen, Bastparenchym und Bastfasern in wenig regelmässiger Abwechslung. An die Bastfasern hält sich auch hier vornehmlich das krystallführende, kleinzellige Bastparenchym. Dieses weist Einzelkrystalle auf, die Markstrahlzellen, soweit krystallhaltig, kleine Drusen. In den älteren Theilen des Bastes entstehen auch Steinzellen. Die Markstrahlzellreihen differiren innerhalb des Bastes nicht merklich in ihrem Verhalten. Russow [1]) hat bei Quercus pedunculata auch quere Siebröhren-Anastomosen innerhalb der Markstrahlen beobachtet.

Der von mir untersuchte 54-jährige Stamm von Quercus palustris hatte einen 12 Jahresringe dicken Splint aufzuweisen, weiter nach innen folgte das an seiner dunkleren Färbung kenntliche Kernholz. Genau so weit, wie der Splint, reichten die mit Stärke erfüllten lebenden Elemente. An der Grenze der schwindenden Stärke erfolgt auch Thyllenbildung in den Gefässen.

Das Holz der Rothbuche (Fagus silvatica) scheint auf den ersten Blick nicht unwesentlich von demjenigen der Eiche abzuweichen und doch ist es thatsächlich aus denselben Elementen aufgebaut. Dieses Holz fällt an Querschnitten durch die grosse Zahl seiner Gefässe auf; was, von den Markstrahlen abgesehen, zwischen den Gefässen liegt, macht den Eindruck von Holzfasern mit eingestreutem Holzparenchym. Bei hinreichend starker Vergrösserung (Taf. III, Fig. 16) constatirt man aber bald, dass auch hier, wie bei der Eiche, die Holzfasern (*ft*) mit Hoftüpfeln versehen sind. Kny [2]) gab schon für die Eiche Uebergänge zwischen Tracheïden und „Libriformzellen" an, und so hebt auch R. Hartig hervor [3]), dass zwischen den Tracheïden und den echten Libriformfasern im Holz der Rothbuche Uebergangsfasern vorkommen, bei denen es sehr schwer sei, zu entscheiden, welcher Organform man sie zuzuzählen habe. Es liegen eben bei der Rothbuche wie bei der Eiche Fasern tracheïdalen Ursprungs vor, die wir als Fasertracheïden bezeichnet

1) Bau und Entwicklung der Siebröhren, Sitzber. der Dorp. naturf. Gesellsch., 1882, p. 290.

2) Text zu den bot. Wandtafeln, p. 333.

3) Das Holz der Rothbuche, p. 23.

haben, und hierin, wie in so vielen anderen Merkmalen zeigt sich denn auch die nahe Verwandtschaft beider Pflanzen. Die Fasertracheïden (*ft*) sind bei Fagus durchgehends dickwandig und englumig; die gleichmässig zwischen diese Fasertracheïden eingestreuten Holzparenchymfäden (*hp*) werden von weitlumigeren, dünnwandigeren Elementen gebildet. Die Jahresgrenze (vergl. die Figur 16, Taf. III) besteht, wie bei der Eiche, aus abgeflachten, regelmässig radial angeordneten Fasertracheïden und holzparenchymatischen Elementen. Ihrem tracheïdalen Charakter gemäss hängen die Fasertracheïden auch mit den Gefässwänden durch ziemlich zahlreiche Hoftüpfel zusammen (vergl. die Figur). Manche durch die Ausbildung des angrenzenden Gefässes radial abgeflachte Fasertracheïde communicirt auch wohl mit dem Gefäss durch mehrere Tüpfelreihen. Dabei kann ihr Lumen äusserst reducirt, ihre Wandung stark verdickt sein.

Sanio [1]) fand in den Fasertracheïden von Fagus silvatica auch die gallertartige Verdickung, welche bei Holzfasern so häufig ist, den Tracheïden nur selten zukommt. Sanio bemerkt auch bei dieser Gelegenheit [2]) ganz richtig, dass die von den Gefässen entfernt liegenden Tracheïden von Fagus silvatica viel Aehnlichkeit mit dem „Libriform“ zeigen, aber wegen der den Gefässtüpfeln gleichen Tüpfel für Tracheïden gehalten werden müssen. Dass Sanio [3]) dieselbe Gallertschicht auch in den entsprechenden Elementen der Eiche, die er aber für „Libriformfasern“ hielt, beobachtete, ist schon erwähnt worden.

Da die Tüpfel der Tracheen und Tracheïden bei Fagus nach allen Richtungen hin entwickelt sind, so hängt das ganze System durch dieselben zusammen, wobei, ganz entsprechend den Verhältnissen, die wir bei der Eiche fanden, die Ausbildung der Hoftüpfel in der Wandung der betreffenden Elemente um so mehr eingeschränkt wird, je ausschliesslicher dieselben nur mechanischen Functionen angepasst erscheinen. Die abgeflachten Fasertracheïden der Jahresgrenze sind, wie bei der Eiche, durch reichlichere, auf die tangentialen Wände eingeschränkte Tüpfe-

1) Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 115.

2) Ebendas.

3) l. c. p. 105.

lung ausgezeichnet (Fig. 16). Die Gefässe (*m*) finden sich, wie auch R. Hartig [1]) angiebt, gleichmässig im Jahreszuwachs vertheilt, nehmen aber nach dessen äusserer Grenze an Zahl und Grösse ab. Auch die grössten haben einen Durchmesser, der nicht wesentlich 0,07 mm übersteigt, sind somit nur etwa $1^1/_2$ Mal so weit wie die kleinen Gefässe von Quercus, die sich im Folgeholze der Jahresringe zerstreut finden. Häufig folgen bei der Rothbuche zwei bis drei Gefässe in radialer Richtung aufeinander, und kommt es auch vor, dass sich zwei Gefässe in tangentialer Richtung berühren. Die Tüpfelung der gemeinsamen Gefässwandungen ist hier nicht so dicht wie bei Salicineen oder wie bei Aesculus, die Tüpfel erreichen sich nicht seitlich, und zeigen daher abgerundete, oft leiterförmig in die Quere gestreckte Gestalten. Diese Tüpfelung schliesst an diejenige der Eiche an, und wie bei der Eiche gehen auch hier allen Elementen des secundären Zuwachses die Schraubenbänder ab. Die Durchbrechung der Querwände in den Gefässen zeigt bei der Rothbuche einige Verschiedenheit. Bei den schwächer geneigten ist ein einziges, weites Loch, bei den stärker geneigten, die bei weitem vorherrschen, eine leiter- bis netzförmige Durchbrechung vorhanden. Auch findet man Scheidewände die zum Theil behöft getüpfelt, zum Theil durchlöchert sind, vereinzelt endlich solche, welche nur Hoftüpfel tragen und somit geschlossen sind.

Innerhalb der Sprosse der leiterförmig durchbrochenen Gefäss-Scheidewände sind häufig, wie schon R. Hartig angiebt [2]), körnige Kalkablagerungen zu sehen.

Die Markstrahlen (*r*) der Rothbuche zeigen, wie jede tangentiale Ansicht lehrt, sehr verschiedene Grösse, wobei die extremen Formen durch alle Mittelglieder verbunden sind. Während bei der Eiche eine Arbeitstheilung in den Markstrahlen sich kaum angedeutet zeigte, ist sie bei Fagus wieder ziemlich weit fortgeschritten. Die einschichtigen Ränder der mehrschichtigen Markstrahlen sind ohne Intercellularen, so auch einschichtige Markstrahlen fast stets in ihrer ganzen Höhe. An den mehrschichtigen Theilen der mehrschichtigen Markstrahlen reichen hier andererseits die Intercellularen bis zur Peripherie. Die Randzellreihen

1) Das Holz der Rothbuche, p. 20.
2) l. c. p. 22.

der ein- und mehrschichtigen Markstrahlen zeichnen sich durch grössere Höhe und geringere radiale Länge aus, wenn auch nicht immer in dem Maasse, dass ihre Höhe den radialen Durchmesser überstiege. Nur diese Randzellreihen hängen durch zahlreiche grosse Tüpfel mit den Gefässen zusammen. Sie zeichnen sich auch durch geringeren Stärkegehalt aus. Die einschichtigen Markstrahlen sind vielfach ihrer ganzen Höhe nach mit den Gefässen durch Tüpfel verbunden. In stärkeren Markstrahlen erreichen die inneren Zellen eine sehr bedeutende radiale Länge. In besonders starken Markstrahlen können innere Zellenzüge sklerenchymatisch verdickt werden. Zwischen Elementen letzterer Art fehlen auch wohl die Intercellularen und erscheinen die primären Wände derselben verquollen. Stellenweise können auch Krystalle in einzelne Markstrahlzellen eingelagert werden.

Die jüngsten Basttheile der Rothbuche zeigen zwischen den Markstrahlen Siebröhren nebst Geleitzellen und Bastparenchym in mehr oder weniger regelmässig abwechselnden Bändern. In einiger Entfernung vom Cambium beginnt alsdann die Ausbildung von Steinzellen aus dem Bastparenchym und wächst weiterhin zu so erheblichen Massen an, dass der grösste Theil des Gewebes nur noch aus Steinzellen besteht. In diesem Falle deponirt somit die Pflanze den ganzen Ueberschuss an Zellhautstoff im Baste in Gestalt von Steinzellen. Den Steinzellen werden in gewohnter Weise Krystalle von Calciumoxalat eingelagert. Auch einzelne grosse Markstrahlen werden im Baste mehr oder weniger vollständig in Steinzellenzüge mit eingelagerten Krystallen verwandelt. In den Siebröhren der thätigen Zone fand ich im Juli relativ grosse Stärkekörner vor. Nicht die Siebröhren, sondern die Geleitzellen sind es auch hier, welche mit den Markstrahlzellen communiciren. Diese Verbindung ist in der ganzen Höhe des Markstrahls, ob eines einschichtigen oder eines mehrschichtigen, zu constatiren. In den älteren Theilen des Bastes sterben hier aber, wie bei Tilia die einschichtigen Markstrahlen ab, und nur die mehrschichtigen bleiben erhalten. Letztere reichen bis zur Borke, wo ihre Intercellularen durch Vermittlung der Lenticellen in Beziehung mit der umgebenden Atmosphäre treten können.

Der älteste der von mir untersuchten Rothbuchenstämme war 124 Jahre alt mit einem Durchmesser von 84 cm. Er

führte, im Juli gefällt, reichlich Stärke in seinen Markstrahlen und in seinem Holzparenchym, und zwar ziemlich gleichmässig, von aussen gerechnet, bis zum 30. Jahresringe, dann in abnehmender Menge. Die beiden äussersten Jahresringe zeigten sich etwas stärkeärmer, als die nach innen folgenden, ihre Stärke war zum Theil verbraucht worden. Als allgemeine Regel stellt R. Hartig [1]) auf, dass der Stärkegehalt des Holzkörpers der Rothbuche sich von aussen nach innen vermindert, er „verschwindet vom 50. Ringe, von aussen gerechnet, in der Regel ganz, oder es zeigen sich doch nur einzelne Zellen der Markstrahlen und des Strangparenchyms noch mit Stärke erfüllt". Im Wesentlichen galt das auch für die von mir untersuchte 124-jährige Buche, in welcher einzelne mit Stärke erfüllte Elemente bis zum Marke zu verfolgen waren. Alle übrigen Elemente der Markstrahlen und des Holzparenchyms zeigten jenseits des 80. Jahresringes, von aussen gerechnet, nur noch gebräunte Schutzgummi-Massen in ihrem Innern, wodurch, wie R. Hartig schon angiebt [2]), die röthliche Färbung des Holzes veranlasst wird. Der bei einzelnen älteren und jüngeren Rothbuchen auftretende schwarzbraune Kern ist nach R. Hartig ein falscher Kern und soll, wie R. Hartig zu zeigen sucht [3]), stets zu Wunden in Beziehung stehen. Seine sämmtlichen Gefässe sind mit Thyllen ausgefüllt, deren Wandungen dunkel gefärbt erscheinen, seine Parenchymzellen führen hellbraune Tropfen von Schutzgummi [4]).

In dem von mir untersuchten 124-jährigen Stamme hatten auch die ältesten Jahresringe nur in vereinzelten Gefässen Thyllen aufzuweisen, zu einer abgesetzten Kernbildung war es in diesem Stamm nicht gekommen, wohl aber in einem sehr alten Stamme, dessen Untersuchung mir durch die Güte des Herrn Forstmeisters Sprengel ermöglicht wurde. Dieser Stamm hatte einen dunkelbraunen Kern, der somit ein falscher Kern

---

1) Das Holz der Rothbuche, p. 38.

2) Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen, und über die Ursache der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut zu München, II, p. 4, und: Das Holz der Rothbuche, p. 30.

3) l. c. p. 31.

4) Ebendas.

hätte sein müssen, der mir aber keine pathologischen Bilder bot, sich vielmehr nachweisbar nur durch eine sehr reichhaltige Production von Kernstoffen aus seinen Markstrahlen auszeichnete.

Da ich eingehende Untersuchungen in dieser Richtung nicht angestellt habe, so kann ich es nur als wahrscheinlich bezeichnen, dass allen Cupuliferen Fasertracheïden zukommen, echte Holzfasern aber abgehen. In manchen Fällen wird die Trennung zwischen diesen Elementen in dem Maasse fortgeschritten sein, dass nur eine vergleichende Untersuchung die sichere Deutung an die Hand legen dürfte.

Den Cupuliferen oder doch mindestens Quercus und Fagus entsprechend verhalten sich die Rosifloren.

Nach Sanio sollen bei Pomaceen und Rosa, die Tracheïden die Hauptmasse des Holzes bilden, das „Libriform" dort aber fehlen [1]). Die Amygdaleen hingegen figuriren bei Sanio unter denjenigen Pflanzen, welche „Libriform" besitzen [2]). Von Pomaceen und von Rosa giebt Sanio an, dass deren Tracheïden eine längere, faserartige Zuspitzung zeigen und dadurch dem Libriform ähnlich werden, was eben mit dem Umstand in Verbindung gebracht wird, dass den genannten Pflanzen das Libriform abgeht. Die Amygdaleen hingegen führt Sanio als ein Beispiel an, das den Unterschied zwischen Tracheïden und Libriform erläutern soll. „Dadurch, dass die Tracheïden im Bau der Tüpfel wesentlich mit den Gefässen übereinstimmen, unterscheiden sie sich bestimmt von den behöft getüpfelten Libriformfasern, deren Tüpfelhof stets kleiner als bei den Gefässen ist: Quercus pedunculata, Amygdaleae u. a. m."

Es musste von vornherein unwahrscheinlich erscheinen, dass so nah verwandte Pflanzen, welche als Unterfamilien gemeinsam den Rosaceen angehören, sich in einem so wichtigen Merkmal der anatomischen Differenzirung unterscheiden sollten. Es lag vielmehr nahe, anzunehmen, dass die bei den Amygdaleen als behöft getüpfelte Libriformfasern beschriebenen Elemente

---

1) Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 114.

2) Ebendas. p. 116.

nur Fasertracheïden sein würden. Giebt doch Sanio selbst an, dass eine Trennung der Libriformfasern von den Tracheïden schwierig werden kann [1]). Diese Trennung lässt sich in der That kaum nach histologischen Befunden allein, vielmehr nur auf Grund vergleichend-morphologischer, somit phylogenetischer Gesichtspunkte vollziehen.

Die Untersuchung des Holzes von Prunus avium lehrte alsbald, der Erwartung gemäss, dass dieser Amygdalee (Prunee) die Holzfasern abgehen, und dass die Hauptmasse ihres Holzes von Fasertracheïden gebildet wird. Die Weite dieser Fasertracheïden nimmt gegen die Peripherie der Jahresringe nur wenig ab, doch werden sie schliesslich flacher und erlangen zugleich deutlich radiale Anordnung. Auch ihre Tüpfelung wird dann reichhaltiger, und treten die tertiären Spiralen, respective Ringe, schärfer in ihnen auf. Diese tertiären Spiralen oder Ringe fehlen der Hauptmasse der Fasertracheïden des Frühholzes und finden sich, zunächst schwach, dann stärker werdend, erst in den mittleren Theilen ein. Im Frühholze kommt die Ausbildung der tertiären Verdickungsschicht fast nur den an die Gefässe anstossenden Fasertracheïden zu. Die reichliche Tüpfelung, sowie die Ausbildung der tertiären Verdickung in den Fasertracheïden des Spätholzes zeugen dafür, dass auch dort erhöhte Anforderungen an die Leitungsfähigkeit dieser letzt erzeugten Holzschicht gestellt werden. Bei Pirus communis, Sorbus Aucuparia sollen nach Sanio nur die Gefässe die spiralige Verdickung zeigen, die Tracheïden nicht [2]). So fand auch ich es in der That bei Sorbus, während das von mir untersuchte Holz von Pirus communis auch innerhalb der Gefässe nur an ganz vereinzelten Stellen Spuren von Schraubenbändern aufwies. Ringförmige und schraubenförmige Verdickung ist in den Fasertracheïden von Prunus avium ohne bestimmte Regel vertheilt, und vielfach wechseln auch beide Verdickungsformen in denselben Tracheïden ab. Die Weite der Gefässe sinkt allmählich von innen nach aussen innerhalb eines jeden Jahresringes. Wesentlich dichter gedrängt stehen die Gefässe meist nur in dem ersten Frühholze. Die Gefässe communiciren durch dicht gedrängte Hoftüpfel mit einander, durch weniger

---

1) l. c. p. 116.
2) l. c. p. 116.

zahlreiche Hoftüpfel mit den Tracheïden, durch zahlreiche, einseitig behöfte Tüpfel mit den anstossenden Markstrahlzellen. Alle Gefässe sind mit tertiärem Schraubenband in ihrem ganzen Umfang versehen. Dasselbe fehlt meist auch nicht im Anschluss an die Markstrahlzellen und das Holzparenchym. So soll sich nach Sanio auch Prunus domestica verhalten, während er von anderen Amygdaleen angiebt, dass die Gefässe eine Spirale nur da führen, wo sie an einander, an Tracheïden und an „Libriform", dessen Vorhandensein Sanio hier ja auch annimmt, grenzen, nicht wo sie Markstrahlen oder Holzparenchym berühren [1]). In der Entwicklung der spiraligen tertiären Verdickungsschicht können somit zwischen nah verwandten Pflanzen Unterschiede bestehen, auch haben uns die an anderen Hölzern gesammelten Erfahrungen gelehrt, dass diese Verdickungsart nicht allen Gefässen zuzukommen braucht. Die tertiären Schraubenbänder bilden somit nicht eine Bedingung der Function für die Gefässe, wohl aber glaube ich annehmen zu können, dass sie deren Function unterstützen. Sicher ist für alle Fälle, dass ihnen eine mechanische, die Widerstandsfähigkeit der Wände erhöhende Bedeutung in den meisten Tüpfelgefässen nicht zukommen kann, da sie zu einer solchen Aufgabe viel zu schwach entwickelt sind. Anders liegt die Sache für Schraubengefässe, respective schraubenförmig verdickte Gefässtracheïden, wo die Schraubenbänder augenscheinlich mechanischen Functionen obliegen, ausserdem aber doch auch noch andere Vortheile der Leitungsbahn bringen mögen. — Leicht ist es bei Prunus avium zu constatiren, dass die Schliesshäute aller der behöften Tüpfel, selbst in den engsten Fasertracheïden, mit einem verdickten Torus versehen sind. Sein Aussehen erinnert an dasjenige in den Spätholztracheïden der Coniferen. Das Holzparenchym ist nur spärlich in einfachen kurzen Zellreihen dem Holze eingestreut. Hin und wieder folgt eine solche Zellreihe einem Gefäss; doch lehren die Querschnitte, dass nur vereinzelte Gefässe eine solche Begleitung aufweisen. Im Ersatz hierfür ist auch hier wieder die Zahl der Markstrahlen gross, und dienen die Zellreihen des Holzparenchyms nur dazu, diese Markstrahlen in der Längsrichtung zu verbinden. Grosse vielschichtige und kleine einschichtige

1) l. c. p. 125.

Markstrahlen treten uns hier ziemlich unvermittelt entgegen und zeigen die uns bereits gewohnte Differenzirung. Nur die grossen führen Intercellularen, und zwar vornehmlich in ihrem Innern, die kleinen sind ohne Zwischenzellräume. Die Zellen an den Rändern der Markstrahlen sind kürzer und höher, und bestehen manche minder hohe einschichtige Markstrahlen nur aus den kurzen Zellen. Auch stellt sich die gewohnte Beziehung zu den Gefässen heraus, indem es vornehmlich die Randzellen der grossen, respective alle Zellreihen kleiner Markstrahlen sind, welche durch Tüpfel mit den Gefässen communiciren. Doch konnte hier vielfach beobachtet werden, dass auch sämmtliche Seitenzellen eines das Gefäss streifenden mehrschichtigen Markstrahls Tüpfel nach dem Gefäss zu entwickelten. Dadurch mag der Ausfall an einer Verbindung mit Holzparenchym wieder ausgeglichen werden. In einem Ende Juli in Alcohol eingelegten Stammstücke zeigten sich meist auch die mit den Gefässen verbundenen Markstrahlzellen stärkehaltig, vielfach jedoch stärkeärmer, so namentlich in den einschichtigen Markstrahlen. Der Splint des von mir untersuchten Stammstücks war von den 14 äusseren Jahresringen gebildet. Der Uebergang von Splint zu Kern war ein ziemlich scharfer. Im Kern zeigte sich das Holz dunkler gefärbt, die Markstrahlen und das Holzparenchym von Stärke entleert, die Gefässe an einzelnen Stellen mit Wundgummi verschlossen. Von Interesse schien es mir, das Verhalten der Hoftüpfel im Kernholze zu verfolgen. Es zeigte sich, dass dieselben hier fast durchweg offen bleiben. Das stimmt zu ihrem immerhin nur geringen Durchmesser.

Um das Bild zu vervollständigen, füge ich einige Angaben über den Bast hinzu. Derselbe bietet eine wenig regelmässige Abwechslung von Siebröhren mit Geleitzellen, Bastparenchym und Sklerenchymfasern, deren Verdickung aber erst jenseits der activen Siebröhrenzone erfolgt. Die Siebröhren, mit ihren Geleitzellen und den Sklerenchymfasern vereint, bilden unregelmässig begrenzte Inseln innerhalb des ihnen an Masse nachstehenden Bastparenchyms. Letzterem fällt ausser der Leitung der Kohlehydrate auch die Aufgabe zu, Kalkoxalat in Drusen aufzuspeichern. Dieselbe Aufgabe übernehmen auch weiterhin die Markstrahlen. Das Verhältniss derselben zu den Elementen der Baststränge ist im Uebrigen das nämliche wie etwa bei

Fagus und soll daher nicht noch einmal geschildert werden. Auch hier bleiben nur die mehrschichtigen Markstrahlen bis zur Borke heran am Leben, während die einschichtigen Markstrahlen früher ausser Function gesetzt werden und in älteren Basttheilen mehr oder weniger entleert in die Sklerenchymfaserbänder eingeschlossen erscheinen. — Der Stammtheil von Prunus avium, welchen ich Ende Juli in Alcohol gelegt hatte, führte Stärke auch innerhalb der Rinde. Ein Anfang December in Alcohol eingelegtes Aststück war hingegen in seiner Rinde völlig stärkefrei, während sich, mit dem Cambium beginnend, die Markstrahlen des Holzes und das Holzparenchym mit Stärke vollgepfropft zeigten. Ebenso war die Rinde eines am 1. December in Alcohol eingelegten Stammabschnittes von Crataegus stärkefrei, während ein um einen Monat früher entsprechend eingelegtes Stammstück einer anderen Crataegus-Art noch sehr stärkereiche Rinde besass. Mitte Januar untersuchte Aststücke des Kirsch- und Birnbaums zeigten die Rinde stärkefrei, den Holzkörper stärkehaltig; bei der Schlehe, deren Verhalten ich annähernd um die gleiche Zeit prüfte, waren hingegen die Rinde und das Holz stärkefrei.

Im Princip stimmten alle von mir zum Vergleich herangezogenen Amygdaleen, Pomaceen, Rubus und Rosa im Bau ihres Holzkörpers überein.

Ein sehr hartes Holz, das seine Härte den Fasertracheïden zu danken hat, bietet die in Gärten so häufig cultivirte Polygala grandiflora. Das Holz lässt sich nur schwer mit dem Messer schneiden. In den relativ nur dünnen Stammstücken, die ich untersuchen konnte, die dicksten hatten erst einen Durchmesser von 8 mm erreicht, zeigte sich das Holz von stark verdickten, äusserst englumigen, radial angeordneten Elementen aufgebaut, zwischen welchen relativ englumige Gefässe spärlich eingeschaltet waren. Eine sehr grosse Zahl fast nur einschichtiger Markstrahlen durchsetzt diesen Holzkörper, so zwar, dass auf je drei radiale Reihen der stark verdickten Elemente durchschnittlich je ein Markstrahl fällt. Allen diesen stark verdickten Elementen geht der plasmatische Inhalt ab, sie weisen faserförmige Gestalt und zahlreiche, allseitig gerichtete, an ihrem Grunde behöfte Tüpfel auf: es sind Fasertracheïden. Vereinzelte Mittelformen verbinden dieselben auch

mit den Gefässen. Letztere sind nicht viel zahlreicher als die Tracheïden getüpfelt, ohne Schraubenbänder wie jene, die Gefässglieder zeigen relativ bedeutende Länge und werden an den geneigten Querwänden von einem elliptischen Loch durchbrochen. Nur sehr spärlich ist das Holzparenchym in den Holzsträngen vertreten, in einfachen, den Gefässen meist nur an der cambiumwärts gerichteten Seite anliegenden Zellfäden. Auch im Querschnitt erkennt man die holzparenchymatischen Elemente an ihrem Inhalt und ihrer schwächeren Verdickung. Die zahlreichen Markstrahlen stellen hier somit fast das gesammte lebendige Gewebe des Holzkörpers vor. Sie werden von schmäleren und zugleich höheren, oder von etwas breiteren und zugleich niedrigeren Zellen aufgebaut. Die ersteren sind in radialer Richtung zugleich sehr kurz und bilden ganz typisch ausgebildete „stehende“ Markstrahlzellen, welche auch nicht von Intercellularen begleitet werden. Die anderen sind in radialer Richtung wesentlich länger und bilden auch Intercellularen an ihren Seiten aus, wie sie denn auch mit diesen Intercellularen durch Tüpfel verbunden sind. Die niedrigeren Markstrahlen bestehen vielfach nur aus den stehenden Zellreihen, die höheren aus beiden, wobei die stehenden die Ränder einnehmen, auch wohl zwischen die Stockwerke der anderen eingeschaltet sind. Die stehenden wie die liegenden Markstrahlzellen hängen durch zahlreiche flache, halb behöfte Tüpfel mit den Gefässen zusammen, und ähnliche, doch etwas weniger grosse und nicht so zahlreiche Tüpfel führen aus denselben nach den Tracheïden. Es ist hier somit, zum mindesten in dem von mir untersuchten Holze, eine Arbeitstheilung innerhalb der Markstrahlen nur in Beziehung zum Gasaustausch, nicht im Verhältniss zu den Wasserbahnen ausgebildet.

Schon im Querschnitte musste uns, von der stärkeren Verdickung der Fasertracheïden abgesehen, die Aehnlichkeit auffallen, welche der Bau dieses Holzes mit demjenigen von Drimys zeigt, und diese Aehnlichkeit erstreckt sich, wie wir sehen, auch auf die Gestalt der Markstrahlen. Das erweckt die Vorstellung, dass es sich hierbei um Correlationen handle.

Im Wesentlichen die nämliche Zusammensetzung des Holzkörpers zeigten die von Dr. H. Schenck aus Brasilien mitgebrachten, zu den Polygaleen gehörigen Lianen der Gattung Securidaca;

Securidaca Sellowiana und lanceolata. Der innere, festere Centralcylinder des Holzkörpers, das axiale Holz, dessen wir bei Wistaria bereits gedachten, hat hier, von der etwas grösseren Weite der Gefässe abgesehen, fast genau denselben Aufbau wie das gesammte Holz der von mir untersuchten Polygala grandiflora. In dem periaxialen Holze, und zwar dessen zunächst vollständigen, dann nur noch unvollständigen Zuwachszonen, treten aber die für die Lianen charakteristischen weiten Gefässe auf, während zugleich die Menge der stark verdickten englumigen Fasertracheïden reducirt wird, ein Theil derselben den typischen tracheïdalen Charakter, mit weiterem Lumen, bei geringerer Länge, annimmt. Die grossen Gefässe dieser Zuwachszonen werden alsdann auch von Holzparenchym mehr oder weniger vollständig umgeben, während zwischen den Tracheïden, auch den weitlumigeren, das Holzparenchym sich nur spärlich vertreten zeigt. Auffallend ist bei diesen Securidaca-Arten die grosse Dicke der Gefässwände, die eine sehr auffällige Ausbildung der einseitig behöften, diese Gefässe mit dem Holzparenchym verbindenden Tüpfel zur Folge hat. Die Dichte der Tüpfelung ist in Gefässen von Securidaca viel grösser als bei Polygala; Schraubenbänder gehen aber auch hier den Gefässen wie den Tracheïden ab. Die Markstrahlen sind fast ebenso zahlreich wie bei Polygala, der grössten Zahl nach auch einschichtig, doch die Markstrahlzellen weniger hoch und schmal. Intercellularen fehlen nur an einstöckigen, hier nicht eben seltenen Markstrahlen constant, so auch eventuell an wenigstöckigen, besonders schmalen, sonst sind sie stets vorhanden. In radialer Richtung sind hier die Markstrahlzellen wesentlich länger als bei Polygala, wobei sich dann weitere Unterschiede in der Länge der Elemente, welche die einzelnen Zellenzüge bilden, ergeben. Die gestreckteren halten sich in gewohnter Weise an die mittleren Theile des Markstrahls. Wie bei Polygala sind aber alle diese Zellreihen annähernd übereinstimmend durch Tüpfel mit den Wasserbahnen verbunden.

In der primären wie secundären Zuwachszone des Bastes zeigten die Securidaca-Arten Siebröhren mit Geleitzellen, Bastparenchym, ausserdem Bastfasern und zum Theil mächtige Steinzellen. Den Bastfasern folgen auch hier vornehmlich die krystallführenden Zellen. In dem Baste des relativ jungen Stammes von Polygala grandiflora fehlten noch die stark ver-

dickten Elemente. Die Markstrahlen der Securidaca-Arten zeigten die gewohnten Verhältnisse.

Mit diesem hoch instructiven Typus, belehrend besonders in der extremen Ausbildung, welche derselbe bei seiner Umgestaltung zur Liane erfährt, wollen wir die Behandlung der dicotylen Holzgewächse abschliessen. Wir wenden uns aber noch an einige krautartige Pflanzen dieser Abtheilung.

Die Untersuchung auch einiger krautartiger Dicotylen war geboten, da möglicher Weise bei denselben diese oder jene Elemente, diese oder jene Structuren fehlen, und dadurch Hinweise auf deren Bedeutung für Holzgewächse entstehen konnten.

Als Untersuchungsobjecte empfahlen sich vorerst die Cucurbitaceen, die bei krautartiger Beschaffenheit und fehlendem secundären Dickenwachsthum zu relativ bedeutender Höhe aufsteigen.

Unter den Cucurbitaceen ist Cucurbita Pepo besonders häufig Gegenstand eingehenden Studiums gewesen, und haben namentlich die Siebröhren derselben zahlreiche Beobachter beschäftigt [1]). An Cucurbita Pepo beschloss ich daher auch mich zu halten. Wie bekannt, sind die Gefässbündel dieser Pflanze bicollateral gebaut und zehn an der Zahl zu einem doppelten Bündelkreise angeordnet, so zwar, dass fünf grössere Bündel einen inneren, fünf kleinere einen äusseren Kreis bilden. Abgesehen von seinem bicollateralen Bau stimmt das Bündel sehr nah mit demjenigen der dicotylen Holzgewächse, vornehmlich mit Aristolochia, überein. In einem ausgewachsenen Internodium sind die Gefässprimanen am Innenrande des Gefässtheils in reichliches, dünnwandiges, unverholztes, unter Umständen chlorophyllhaltiges Vasalparenchym eingestreut. Diese Vasalprimanen sind mehr oder weniger vollständig zerdrückt. Es folgen an Weite zunehmende ring-, respective schraubenförmig verdickte Gefässtracheïden, dann Schraubengefässe mit engen Schraubenwindungen, darauf, in der Mitte des Gefässbündels, zum Theil sehr enge Tüpfelgefässe. Die Querwände dieser Tüpfelgefässe sind kaum geneigt und fast ausnahmslos von einem grossen oder kleinen Loche durch-

---

1) Vergl. vorn. Alfr. Fischer, Unters. über das Siebröhren-System der Cucurbitaceen, 1884.

brochen. Erst nach längerem Suchen gelingt es, eine verschlossene, nur mit Hoftüpfeln versehene Querwand zu finden. Die Flanken des Bündels werden der Regel nach von zwei sehr weiten Gefässen eingenommen. Jene Gefässe gehen aus auffallend kurzen Gliedern hervor. Sie sind umgeben von sehr niedrigen, quer gestreckten, unregelmässig gestalteten Vasalparenchymzellen, typischen Gefässbelegzellen, deren unregelmässige Contouren den dicht gedrängten Tüpfeln der Gefässwand ausweichen. Die centrale Gruppe der Tüpfelgefässe erscheint von gestrecktem Vasalparenchym umgeben, das sich stellenweise auch zwischen diesen Gefässen vertheilt zeigt und die weitesten derselben mehr oder weniger vollständig umhüllt. Die Verbindung der Tüpfelgefässe der centralen Gruppen untereinander erfolgt, wie auch sonst üblich, durch doppelt behöfte Tüpfel, während einseitig behöfte Tüpfel diese Tüpfelgefässe mit den Vasalparenchymzellen verbinden. Im Bereich der Knoten schwinden die grossen Gefässe innerhalb derjenigen Gefässbündel, welche in die Blätter ausbiegen, während sie in den anderen, an welche andere Gefässbündel seitlich anschliessen, erhalten bleiben. In denjenigen Gefässbündeln, welche ihre grossen Gefässe einbüssen, werden diese durch eine ganze Anzahl engerer fortgesetzt. In allen diesen und anderen engen Tüpfelgefässen innerhalb der Knoten erscheinen die Querwände mehr oder weniger geneigt und weisen ausser Hoftüpfeln ein grösseres oder kleineres Loch auf. Solche Löcher sieht man auch in den geneigten Endflächen aufeinander stossender weiterer Gefässe, und nur in vereinzelten Fällen gelingt es, sich von dem Fehlen der Durchbrechung zu überzeugen.

An das die weiten Gefässe und die centrale Gefässgruppe deckende Vasalparenchym sieht man an Querschnitten durch ein Internodium die radial angeordneten Zellreihen des Cambiums grenzen. Dieselben gehen nach aussen in die Elemente des thätigen Siebtheils über, der aus weiten, mit je einer, selten zwei Geleitzellen versehenen Siebröhren und aus Siebparenchym besteht. Nach dem Aussenrande hin nehmen die parenchymatischen Elemente an Zahl und Durchmesser zu, und wir finden schliesslich die Cribralprimanen, in ganz ähnlicher Weise wie die Vasalprimanen, in demselben zerstreut. Die einzelnen zerstreuten Stränge dieser Cribralprimanen bestehen meist nur aus einer Siebröhre nebst Geleitzelle, seltener einem

Doppelpaare solcher Elemente. Dieselben zeigen nur geringen Durchmesser und sind zum Theil zerquetscht. Wie weit das Parenchym an der Siebtheilseite noch dem Siebtheil beizuzählen ist, lässt sich nicht feststellen; es geht in die weitlumigen Elemente des Grundgewebes über. — Der Siebtheil an der Innenseite des Bündels ist ebenso wie derjenige des Aussenrandes gebaut, entgegengesetzt orientirt. Er umfasst mondsichelförmig den Innenrand des Gefässtheils, von dem er durch dünnwandiges Parenchym getrennt ist, welches durch seine radiale Anordnung auf länger andauernde Thätigkeit hinweist. Dieses Gewebe ist denn auch von Bertrand [1]) und Lotar [2]) als inneres Cambium angesprochen worden. Gegen diese Bezeichnung macht Alfred Fischer [3]) geltend, dass die Theilungen in diesem Gewebe nur so lange wie das Längenwachsthum der Internodien anhalten, dass sie alsdann erlöschen, während das äussere Cambium in Thätigkeit bleibt. Es handelt sich somit an der Innenseite des Bündels nur um eine procambiale Zone, wie sie auch dem geschlossenen Gefässbündel der Monocotylen zukommt. Der innere Siebtheil verhält sich an seinem, dem Stengelinnern zugekehrten Rande nicht anders als wie der äussere Siebtheil an seinem Aussenrande, er führt dort die nämlichen Cribralprimanen, die nur etwas weniger tief in das Cribralparenchym reichen. Letzteres geht ebenfalls in Grundgewebe über.

Auch in den Geleitzellen bei Cucurbita konnte ich Protoplasmaströmung beobachten, und zwar schwache Circulation. Die Elemente des Siebparenchyms und das sonstige Stengelparenchym zeigten lebhafte Rotation. In den Siebröhrengliedern war auch Circulation zu beobachten, doch nur so lange, als noch der Zellkern in voller Thätigkeit stand und Schleimtropfenbildung am Wandbeleg nicht begonnen hatte.

Aus einer Geleitzellinitiale können in sehr langen Internodien von Cucurbita bis 12 Geleitzellen hervorgehen, diese Zahl andererseits an besonders kurzen Siebröhrengliedern bis auf zwei sinken. Die Geleitzellen sind durch dichten, protoplasmatischen Inhalt ausgezeichnet. Sie sind mit ihren zuge-

---

1) Théorie du faisceau, Bull. sc. du Dép. du Nord., 2. sér., III, 1880, p. 37.

2) Ebendas. p. 26—31.

3) l. c. p. 7.

hörigen Siebröhrengliedern durch quer gedehnte, flache Tüpfel verbunden. Derartige Tüpfelverbindungen zwischen Siebröhren und Geleitzellen sind bei einigermaassen stärkerer Wandverdickung sehr verbreitet, nicht immer aber so leicht wie hier nachzuweisen. Oefters wird das Ende des zugehörigen Siebröhrengliedes von der Geleitzellreihe nicht erreicht. Die Geleitzellreihen an den einzelnen Gliedern treffen der Regel nach nicht auf einander, was ja bei Vorhandensein von Cribralparenchym im Siebtheil, an welches der Inhalt der Geleitzellen übermittelt werden kann, nicht nothwendig erscheint. — Werden Stengeltheile, die mit der Mutterpflanze in Verbindung stehen, der Alfred Fischer'schen Methode gemäss, durch mehrere Minuten langes Eintauchen in kochendes Wasser getödtet und in solcher Weise fixirt, so findet man, so wie es Fischer angiebt [1]), die fertigen, functionirenden Siebröhren ganz mit trübem, feinkörnigem Inhalt angefüllt. Ein zarter Wandbeleg aus Protoplasma ist in jeder Siebröhre jetzt auch unschwer nachweisen. Stärke geht bekanntlich den Siebröhren von Cucurbita ab. Der Inhalt der Geleitzellen erscheint, Fischer's Angaben entsprechend, grobkörniger. Auch ist an Längsschnitten, wie schon A. Fischer betont, der Zusammenhang der Inhaltsmassen aufeinander folgender Siebröhrenglieder sehr auffällig.

Kaum an einem Objecte ist die Entwicklungsgeschichte der Siebröhren und ihr Verhalten im fertigen Zustande so oft und so eingehend untersucht worden, wie bei Cucurbitaceen, deren auffallend weite Siebröhren gewissermaassen zu einem Studium einladen. So mögen denn auch an dieser Stelle die für uns in Betracht kommenden Verhältnisse besprochen werden, und zwar im Anschluss an die neuerdings veröffentlichte Abhandlung von Lecomte [2]). Während früher übereinstimmend die Anlage der Siebplatte als eine durchgehende Cellulosewandung geschildert wurde, sollen nach Lecomte die den späteren Siebporen entsprechenden Stellen Cellulosecharakter niemals erlangen [3]). Dass sie nicht aus Cellulose bestehen, wird vornehmlich aus ihrer frühzeitigen Tinctionsfähigkeit mit Anilin-

---

1) Ber. der Deutsch. Bot. Gesellsch., Bd. III, 1885, p. 231.

2) Contribution à l'étude du liber des Angiospermes, Ann. de sc. nat. Bot., VII sér., T. X, p. 193.

3) l. c. p. 248.

blau geschlossen, während doch andererseits Lecomte selbst angiebt, dass es gelingt, diese Stellen, wenn auch schwächer als die benachbarten, mit Chlorzinkjodlösung blau zu färben. Die stärkere Tinctionsfähigkeit der das Netzwerk der Siebplatte bildenden Stellen mit Chlorzinkjodlösung hängt aber, meiner Ansicht nach, nur damit zusammen, dass sie alsbald stärker verdickt werden. Andererseits mag auch die rasch sich einstellende Tinctionsfähigkeit der zur Auflösung bestimmten Stellen mit Anilinblau die Folge einer ebenso rasch eintretenden Veränderung derselben sein. Dass bei Coniferen die Membran des „Primordialtüpfels" an den Stellen erst weiterhin anschwillt, auf welche die Poren treffen, so erst die stark lichtbrechenden „Knötchen" bildet, ist nicht zu bezweifeln. Wenn aber in der Membran des Primordialtüpfels bei Coniferen eine nachträgliche Veränderung sich einstellen kann, so ist auch kein Grund, dieselbe bei Angiospermen in Frage zu stellen. Bei Coniferen kommt es nur zu einer Quellung der in Betracht kommenden Stellen, deren geringe Resistenzfähigkeit sich weiterhin darin offenbart, dass sie zugleich mit den Calli gelöst werden; bei vielen Dicotylen, so bei Cucurbita, werden aber die den Poren entsprechenden Stellen schon frühzeitig verflüssigt, so dass der Inhalt der anstossenden Siebröhrenglieder in offene Verbindung tritt. Die Art, wie eine Quellung und Auflösung solcher Stellen einer Cellulosemembran sich abspielen kann, wird uns durch die Auflösung der Querwände in Gefässanlagen des Holzkörpers hinlänglich illustrirt. Der Auflösung der für die Siebporen bestimmten Stellen geht auch bei Angiospermen eine Quellung voraus, die zu einer immer energischer werdenden Aufspeicherung von Anilinblau durch dieselben führt. In der Achse der so gequollenen Stellen werden alsbald noch dunkler sich färbende Stränge sichtbar; sie stellen die Schleimfäden vor, durch welche die fertigen Siebröhren jetzt communiciren. Nach Lecomte gehen auch so stark geneigte Siebplatten, wie diejenigen etwa von Vitis oder Tilia, aus Anlagen hervor, die von denjenigen von Cucurbita zunächst nur wenig abweichen. In der That sind ja die Terminalwände der Siebröhrenglieder zunächst nicht stärker geneigt als diejenigen der Cambiumzellen und erlangen die starke Neigung erst während ihrer weiteren Entwicklung. Es soll nun nach Lecomte die Anlage der Siebplatte zunächst ganz ähnliches Aussehen wie bei Cucurbita besitzen und nur ein

einziges Maschenfeld bilden, welches aber bei andauernder Streckung und zunehmender Neigung der Wandung durch quer aufgesetzte Cellulosebänder in mehrere Felder zerlegt wird [1]). Lecomte glaubt annehmen zu müssen, dass bei zahlreichen Angiospermen deren Siebplatten nur sehr feine Punctirung zeigen, eine wirklich offene Communication zwischen den aufeinander folgenden Siebröhrengliedern nicht besteht, dort vielmehr ähnliche Verhältnisse wie bei den Gymnospermen obwalten [2]). Wenigstens gelang es Lecomte in solchen Fällen nicht, bei Auflösung der Siebplatte verbindende Schleimfäden zwischen den einzelnen Gliedern nachzuweisen. Bei der Schwierigkeit der Untersuchung lässt sich diese Angabe in Zweifel ziehen, unmöglich erscheint sie aber nicht, da ja auch bei den meisten Angiospermen der Inhalt der Siebröhren verhältnissmässig dünnflüssig ist [3]). Schimper vertritt sogar die Ansicht, dass der Inhalt der Siebröhren stets in frischem Zustande wässerigflüssige Consistenz besitze, und erst an der Luft schleimig bis gallertig werde [4]). Im Gegensatz zu älteren Angaben lässt Lecomte die Callussubstanz sich weiterhin direct auf das Cellulosenetz der Siebplatte ablagern. Er findet letzteres zunächst überzogen von einer sehr zarten Schicht solcher callöser Substanz, die weiterhin anschwillt und sich über die Perforationen verbreitet, so dass diese schliesslich fast unsichtbar werden [5]). Meinen Beobachtungen nach, die auf Cucurbita, Aristolochia, Vitis, Fagus und Prunus avium sich erstrecken, entsteht hingegen der Callus der Siebplatten bei den Angiospermen dem Wesen nach nicht anders als bei den Gymnospermen und geht von dem die Poren auskleidenden Protoplasma aus. Dieses Protoplasma lagert innerhalb der Maschen Callusmassen ab, die sich einerseits seitlich ausbreiten und zu einer zusammenhängenden Platte verschmelzen, andererseits die Lumina der

---

1) l. c. p. 257.

2) l. c. p. 250.

3) Vergl. hierzu auch A. Fischer, Ueber den Inhalt der Siebröhren in der unverletzten Pflanze, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch., 1885, p. 237.

4) Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora, Neue Reihe, 48. Jahrgang, der ganzen Reihe 73. Jahrgang, 1890, p. 261.

5) l. c. p. 201 ff.

Poren immer mehr verengen, so dass diese sich alsbald nur noch als feine, die Callusmasse durchsetzende Streifen zeigen. Aus den Angaben von Russow ist zu entnehmen, dass er dieselbe Anschauung von der Entstehung der Callusplatten bei den Angiospermen gewonnen hat[1]). Der Einwand von Lecomte, dass alsdann die sich vereinigenden Calluspfropfen an der Oberfläche jeder Siebplatte ein polygonales Netzwerk bilden müssten, findet dadurch seine einfache Erledigung, dass dem vielfach so ist, und dass solche Bilder, namentlich bei Aristolochia, auf einem bestimmten Entwicklungszustand, unschwer aufzufinden sind. Auch kann der Umstand nicht als Einwand dienen, dass die Callusplatten an der Mündungsstelle der feinen Porenkanäle vertieft sich zeigen, denn nicht anders ist es vielfach auch bei Coniferen, ungeachtet dort über den Ursprung der Callusmassen, von den Enden der Callusstäbe aus, gar kein Zweifel bestehen kann. Ebenso lehren die Coniferen, wie eine Verschmelzung solcher getrennt entstandenen Calluspfropfen in einer zusammenhängenden Callusplatte vor sich gehen kann, ohne dass letztere weiterhin irgend welche Spuren von dieser Verschmelzung verrathe. Somit würde in den wesentlichen Zügen eine Uebereinstimmung in der Entwicklung der Callusplatten bei Angiospermen und Gymnospermen bestehen, während man nach Lecomte das Gegentheil annehmen müsste. — Was die Entwicklung des Inhaltes der Siebröhren anbetrifft, so ist wohl richtig, wenn Lecomte das mit Lösungen eiweissartiger Körper erfüllte Innere der einzelnen Glieder mit Vacuolen vergleicht. Es ist das in einem Worte das mit dem betreffenden Inhalt erfüllte Lumen der einzelnen, die Siebröhren aufbauenden Zellen, um das es sich hierbei handelt. Dass die Zellkerne der Glieder aufgelöst werden, bevor dieselben den fertigen Zustand erreichen, ist leicht festzustellen. Lecomte will in einzelnen Fällen bei Cucurbita, Impatiens, Vitis, Macropiper in den Gliedern fertiger Siebröhren noch den Zellkern wiedergefunden haben[2]), doch sind das Ausnahmefälle, denen eine weitere Bedeutung nicht beizulegen ist. Dass die Siebröhrenglieder trotz des Verlustes ihres Zellkernes einen lebendigen Wandbeleg aus Protoplasma behalten, habe ich wiederholt schon ausgesprochen. Lecomte vertritt

1) l. c. p. 302 ff.
2) l. c. p. 284.

dieselbe Auffassung [1]). Zur Stütze des Lebendigbleibens thätiger Siebröhrenglieder führt er an, wie früher Velten [2]), Protoplasmaströmung in denselben beobachtet zu haben [3]). So bei Vitis-Arten, Tilia, Rubus, Cucurbita. Ich bemerkte bereits, dass ich solche Protoplasmaströmungen nur so lange in den Siebröhren von Cucurbita verfolgen konnte, als der Zellkern noch vorhanden war. Nicht anders fand ich das, wie später noch berührt werden soll, bei Zea Mays, und habe daher Grund, anzunehmen, dass die von Lecomte angeführten Beispiele sich nicht abweichend verhaltend dürften. Lecomte versuchte diese von ihm behauptete Protoplasmaströmung in den Siebröhren in Beziehung zu dem Transport der Stoffe in denselben zu bringen, während ich der lebenden Protoplasmaschicht der Siebröhrenglieder einerseits die Aufgabe zutheilen möchte, die Diffusion der in den Siebröhren enthaltenen Stoffe in die Umgebung zu verhindern, andererseits die Ausbildung der zeitweiligen und endgiltigen Verschlüsse der Siebplatten zu besorgen. — Dass die Ansammlungen von Inhalt an den Enden der Siebröhrenglieder nur Kunstproducte sind, bestätigt auch Lecomte. — Auch wo der Inhalt der Siebröhren wässrig ist, lässt sich ein Gehalt an Eiweisskörpern in denselben feststellen [4]). Lecomte benutzte hierzu vornehmlich eine Lösung von Ammoniumcarbonat [5]). Dass die stark lichtbrechenden, besonders in der Nähe der Siebplatten sich ansammelnden Körner im protoplasmatischen Wandbeleg der Siebröhren Leucoplasten sind, ist auch Lecomte entgangen [6]). Dass die Stärke in den Siebröhren wie Amylodextrin reagirt, führt andererseits auch Lecomte an. Auch kommt er, in Uebereinstimmung mit den meisten anderen Beobachtern, zu der Ueberzeugung, dass diese Stärke nicht durch die Poren der Siebplatten gehen könne [7]). Ich habe bereits an anderer Stelle die Stärke der

1) l. c. p. 284.

2) Ueber die Verbreitung der Protoplasmaströmung im Pflanzenreiche, Bot. Ztg. 1872, Sp. 649.

3) l. c. p. 285.

4) Eine entgegengesetzte Angabe von A. Fischer, Ueber den Inhalt der Siebröhren in der unverletzten Pflanze, Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch., 1885, p. 236, dürfte wohl dahin zu berichtigen sein.

5) l. c. p. 282.

6) l. c. p. 286.

7) l. c. p. 289, 291.

Siebröhren in Beziehung zu der Callusbildung zu bringen gesucht, wie ihr ausserdem eine Bedeutung für die Unterhaltung der Lebensvorgänge in der Wandschicht aus Protoplasma zukommen mag.

Das Schwinden der Zellkerne in den Siebröhren kann nicht, wie es Zacharias [1]) annehmen möchte, mit der alkalischen Reaction des Siebröhrensaftes, speciell seinem Gehalte an phosphorsaurem Kali zusammenhängen, denn es war mir möglich, Längsschnitte von Cucurbita tagelang in dem aus deren Siebröhren hervorgetretenen Safte mit unverletzten Zellkernen am Leben zu erhalten. Ich erneuerte diesen Saft in kurzen Intervallen und stellte zu wiederholten Malen fest, dass er durch den sauren Saft der Parenchymzellen nicht neutralisirt worden war. Selbst aus jungen Siebröhren herausgedrückte Zellkerne konnte ich auffallend lange in diesem Saft erhalten.

In einem ausgewachsenen Internodium von Cucurbita ist das Mark ausgehöhlt, die Gefässbündel in chlorophyllarmes Gewebe eingebettet, dessen unmittelbar an die Bündel grenzende Lagen intercellularfrei sind. Dasselbe Gewebe, das die Bündel trennt, scheidet sie auch in starker Lage vom Sklerenchymring. An den Seiten der Gefässtheile und um die inneren Siebtheile zeichnet sich das Grundgewebe meist durch seinen Stärkereichthum aus. Die an den Sklerenchymring grenzende Zellschicht zeichnet sich, bis zu dessen vollendeter Verdickung, durch Stärkereichthum aus. Sie entspricht der als Stärkescheide entwickelten innersten Rindenschicht [2]). Diese Stärkescheide ist hier ziemlich deutlich abgesetzt, sonst aber nicht durch die Art ihrer Verdickung ausgezeichnet. Sie führt grössere und stärkereichere Chlorophyllkörner als die folgenden Rindenschichten, ist aber weder verholzt noch irgendwie verkorkt. In der Peripherie verläuft eine Collenchymlage, die in den Stengelfurchen unterbrochen ist, den Längsstreifen entsprechend, die von Spaltöffnungen eingenommen werden.

Selbst bei Durchmusterung eines ausgewachsenen Internodiums wird man an der Innenseite des Collenchyms, ebenso

---

1) Ueber den Inhalt der Siebröhren von Cucurbita Pepo, Bot. Ztg. 1884, Sp. 72, Anm. 1.

2) Vergl. Van Tieghem, Bull. de la soc. bot. de France, 1882, p. 281.

an der Innenseite des Sklerenchymringes, und weniger leicht auch im Collenchym selbst, dünne, ausser Function gesetzte Cribralstränge erkennen. Die an der Innenseite des Collenchyms gelegenen sind durch Commissuren verbunden, und ebensolche Commissuren verbinden auch die an der Innenseite des Sklerenchymringes gelegenen Cribralstränge unter einander und mit den Siebtheilen der Bündel. Diese Cribralstränge haben eingehende Berücksichtigung in Alfred Fischer's Untersuchungen über das Siebröhren-System der Cucurbitaceen gefunden und sollen hier nur kurz berührt werden. Wie Alfred Fischer gezeigt hat, beginnt die Ausbildung der Cribralstränge, die später in das Collenchym eingeschlossen werden, früher als der übrigen; sie werden aber auch früher als jene ausser Thätigkeit gesetzt, mit dem Augenblick nämlich, wo die Ausbildung des Collenchyms vollendet ist. Hierauf erst gelangen die an der Innenseite des Collenchyms und des in Bildung begriffenen Sklerenchymringes verlaufenden Cribralstränge zur vollen Entwicklung. Es geschieht das in den Internodien, welche vor dem Maximum ihrer Längsstreckung stehen [1]). In solchen Internodien macht man sich auch am besten mit dem Bau dieser Stränge bekannt. Im Querschnitt weisen sie drei bis fünf Zellen auf, und zwar schliessen sie normaler Weise nur eine Siebröhre sammt einer Geleitzelle und ausserdem nur „Nebenzellen“ ein. Wie auch Alfred Fischer nachweisen konnte, gehen die Nebenzellen und die Siebröhre sammt Geleitzelle aus derselben Mutterzelle hervor, in welcher eine entsprechende Anzahl von Längstheilungen erfolgt [2]). Das Siebröhrenglied behält die Länge der Mutterzelle bei, die Initialen der Geleitzellen und der Nebenzellen zerfallen durch Querwände in eine Anzahl über einander liegender Elemente. Die Nebenzellen nehmen alsbald den Charakter der angrenzenden Grundgewebselemente an, und ihre Bildung erfolgt jedenfalls, um der Siebröhre dicht angeschmiegte und ihr folgende cribralparenchymatische Elemente zu schaffen. Die angrenzenden Grundgewebszellen schliessen um den Cribralstrang, soweit sie an die Siebröhre oder Geleitzelle anstossen, lückenlos zusammen, an den Nebenzellen bilden sie, wie unter einander, kleine Inter-

1) Vergl. Fischer, l. c. p. 18.
2) Ebendas. p. 20.

cellularen. Ich habe constatiren können, dass auch die Geleitzellen der Siebröhrenglieder in diesen Cribralsträngen nicht auf einander treffen, sich somit nicht anders als wie im Cribraltheil der Bündel verhalten. Das macht eben die Schaffung anliegender Cribralparenchymzellen nöthig, für welche durch gemeinsamen Ursprung aus einer embryonalen Mutterzelle in entsprechendster Weise vorgesorgt ist. Auch die Commissuren führen solche Nebenzellen. Diese Commissuren werden aus Grundgewebszellen erzeugt, die vielfach schon Chlorophyllkörner führen und somit zu dem embryonalen oder cambialen Zustand zurückkehren. Die Commissuren verlaufen annähernd horizontal; die Länge ihrer Glieder entspricht der Breite der Mutterzellen, aus denen sie hervorgingen, ist somit auch nicht bedeutend. Die Geleitzellinitialen werden daher auch nicht getheilt, sondern bilden ihrer ganzen Länge nach eine einzige Geleitzelle. Die Commissuren weisen eine grössere Anzahl von Elementen als die Längsstränge auf, was damit zusammenhängt, dass bei ihrer Entstehung die betheiligten Grundgewebselemente zuerst durch verticale Wände in mehrere neben einander liegende Zellen und diese hierauf durch horizontale Wände in mehrere über einander liegende zerfallen [1]). Die Geleitzellen treffen ebenso wenig in den Commissuren auf einander als in den Längssträngen. Sobald die Streckung der Internodien vollendet ist und das Dickenwachsthum beginnt, obliteriren die sämmtlichen Cribralstränge; von den Commissuren bleiben aber nur diejenigen erhalten, welche die Siebtheile der Bündel verbinden. — Das Markstrahlgewebe folgt dem Dickenwachsthum der Bündel längere Zeit durch Grössenzunahme seiner Zellen. Erst relativ spät beginnen sich seine Zellen in der Verbindungslinie der Fascicularcambien tangential zu theilen und so interfasciculare Brücken auszubilden, deren Thätigkeit aber nur wenig ergiebig ist. Sie beschränkt sich auf die Production einiger Reihen von Grundgewebselementen. Diese interfascicularen Brücken verbinden die Bündel der beiden Kreise zu nur einem, entsprechend ausgebuchteten Ringe. Innerhalb der Brücken werden dann aber noch zwischen den Bündeln neue cribrale Commissuren ausgebildet, und diese sind

---

1) Das Nähere bei Fischer l. c. p. 22.

auf Querschnitten durch entsprechend alte Internodien besonders leicht zu treffen[1]).

Auf diese Untersuchung der Stammtheile von Cucurbita lasse ich auch eine Untersuchung der Gefässbündel der Blätter derselben Pflanze folgen. Cucurbita ist ein in dieser Beziehung wiederholt schon studirtes und in der That auch besonders lehrreiches Object.

Der Blattstiel von Cucurbita Pepo[2]) ist hohl, seine 9 bis 11 Bündel im Kreise angeordnet, und zwar so, dass ein grösstes unpaares Bündel auf der Unterseite in der Mediane zu liegen kommt. Die Blattstielbündel zeigen den nämlichen Bau wie die Stengelbündel, sie sind bicollateral wie jene, haben aber nicht so grosse seitliche Gefässe aufzuweisen. Auch werden die Blattstielbündel an den Flanken und an dem Innenrande von stärkereichem Grundgewebe umfasst. Ein geschlossener Sklerenchymring fehlt dem Blattstiel, wohl aber sind Sklerenchymbelege an der Aussenseite der einzelnen Bündel zu finden. Diese Belege werden von dem thätigen Siebtheil durch grosszelliges Parenchym getrennt, in welchem, ganz so wie wir es im Stengel gesehen, die Cribralprimanen vertheilt sind. Jedem Sklerenchymbelege liegt ein entsprechend breites Stück der Stärkescheide an. Die vorspringenden, den Gefässbündeln in ihrer Vertheilung entsprechenden Kanten des Blattstiels werden durch Collenchym eingenommen.

Alfred Fischer giebt an[3]), dass auch während des mit Zelltheilung verbundenen Längenwachsthums des Blattstiels, welches er, wie im Stengel, als das meristematische bezeichnet, transitorische, hypodermale Siebstränge auftreten, welche später von dem Collenchym umschlossen werden und obliteriren, während neue Siebstränge an der inneren Grenze der collenchymatischen Zellgruppen die Ernährung der Rinde übernehmen. Diese letzteren treten durch Commissuren mit den Siebtheilen der Gefässbündel in Verbindung. Diejenigen transitorischen Siebbündel, die A. Fischer im Stengel als entocyclische bezeichnete, und welche dort an der Innenseite des Sklerenchym-

1) Vergl. hierzu auch de Bary, Vergl. Anat., p. 470; Petersen in Engler's Bot. Jahrbüchern, Bd. III, p. 375; Alfred Fischer l. c. p. 14.

2) Vergl. auch Alfred Fischer, l. c. p. 62.

3) l. c. p. 63.

ringes zu liegen kommen, fehlen im Blattstiel, was Fischer auf das Fehlen des Sklerenchymringes und verminderte Anforderungen, die in jener Gegend an die Ernährung gestellt werden, zurückzuführen sucht. Die Sklerenchymbelege an der Siebseite der Bündel können, meint Fischer, von den Siebtheilen der Bündel aus ernährt werden. Die Siebtheile der Gefässbündel bleiben auch in fertigem Zustande durch Commissuren verbunden.

Die Verhältnisse beim Eintritt der Blattbündel in den Stengel sind hier zu complicirt, um in bestimmter Richtung in Fragen des Gewebeanschlusses von uns verwerthet werden zu können, daher wir uns gleich zur Lamina wenden, in welcher uns die Gefässbündelenden als instructive Objecte entgegentreten. Ein ziemlich complicirter, zahlreiche Anastomosen aufweisender Uebergang am oberen Ende des Blattstiels vermittelt die Theilung des einen Gefässbündelkreises des Blattstiels in die Bündelkreise der drei Hauptrippen der Lamina. Der Gefässbündelverlauf in der Lamina zwischen den stärkeren Rippen ist ein typisch netzförmiger. Die letzten Auszweigungen endigen blind innerhalb der Maschen. In den Blattzähnen laufen je ein kräftiges mittelständiges und zwei schwächere seitenständige Bündel zusammen, um sich dort pinselförmig aufzulösen. — Die Zahl der Gefässbündel nimmt in den Blattrippen, dem sinkenden Durchmesser derselben entsprechend, ab. Die Bündel bleiben bicollateral. Alfred Fischer giebt an, dass auch in den Blattrippen transitorische Siebstränge auftreten und Commissuren ausgebildet werden. In feinen Nerven sinkt die Anzahl der Bündel schliesslich auf ein einziges. Die Bündel erfahren dabei eine fortschreitende Vereinfachung, ohne jedoch ihren bicollateralen Bau einzubüssen. Der obere Siebtheil wird aber sehr stark reducirt. — Ein relativ noch kräftiges Bündel wird durch unsere Fig. 17, Taf. IV, vorgeführt. Der Gefässtheil zeigt zwei über einander liegende Gefässtracheïden, von denen die obere viel englumiger ist. Diese beiden Tracheïden werden von einer Schicht chlorophyllfreier Parenchymzellen seitlich eingefasst. An die obere Gefässtracheïde schliesst eine Vasalparenchymzelle an, auf diese folgt nach oben eine Reihe von Zellen, und zwar zunächst eine Siebröhre mit Geleitzelle, dann eine Siebparenchymzelle, dann wieder eine Siebröhre mit Geleitzelle und noch zwei Zellen, von denen die untere noch als Siebparenchym, die obere etwa als Scheidenelement gelten

kann. Die obere dieser Zellen grenzt an die Epidermis. Als Scheidenelemente fungiren die zu beiden Seiten an diesen oberen Siebtheil anschliessenden chlorophyllfreien Zellen, die abwärts sich in die den Gefässtracheïden seitlich angrenzenden Zellen fortsetzen. Die Siebröhren des oberen Siebtheils sind inhaltsarm, doch nicht ausser Function gesetzt. In der Längsansicht [1]) fällt in ihrem Wandbeleg eine regelmässige Vertheilung kleiner spindelförmiger Körper, wohl Leucoplasten, auf; ihre Geleitzellen führen körniges Plasma. Den unteren Siebtheil finden wir in unserer Fig. 17, Taf. IV, bestehend aus Siebröhren, die von je einer Geleitzelle begleitet werden, und aus Siebparenchym. Die lückenlos verbundenen chlorophyllfreien Elemente der Scheide sind gegen das Cribralparenchym nicht überall scharf abzugrenzen. — In noch feineren Bündeln, wie ein solches in Fig. 18, Taf. IV, dargestellt ist, zeigt der Gefässtheil nur eine gefässartige Schraubentracheïde; über dieser liegt eine Vasalparenchymzelle, dann eine Siebröhre und hierauf deren Geleitzelle. Der untere Siebtheil ist ebenfalls durch eine Vasalparenchymzelle vom Gefäss getrennt: Siebröhren, Geleitzellen und Siebparenchym setzen denselben zusammen, doch ist die Zahl dieser Elemente wesentlich reducirt. Vergegenwärtigen wir uns die Verhältnisse in den Gefässbündeln des Stengels, dann des Blattstiels, vergleichen hierauf die Figuren 17 und 18, Taf. IV, mit einander, so tritt uns mit Evidenz eine fortschreitende Reduction der Lumina der Siebröhren entgegen. In Fig. 18 sind letztere bereits auf den Durchmesser der Geleitzellen gesunken. Ihre Weite beträgt nur noch einen Bruchtheil der ursprünglichen Dimensionen. Die Geleitzellen haben hingegen eine relativ bedeutende Weite behalten. In den folgenden Verzweigungsgraden sinkt der Durchmesser der Siebröhren immer mehr. Alfred Fischer, der diese Verhältnisse, wie schon erwähnt, zuerst hervorhob, hat eine Anzahl Messungen bei Cucurbita Pepo ausgeführt, um die Abnahme des Siebröhrenquerschnittes mit Zahlen zu belegen. Seinen Berechnungen zufolge würde der Flächeninhalt des Querschnittes der Siebröhren in den Blattnerven von 410 bis auf 4 Quadratmikromillimeter sinken können [2]). — In dem Fig. 19, Taf. IV, dar-

---

1) Vergl. z. B. Fig. 25, Taf. IV.

2) Studien über die Siebröhren der Dicotylenblätter, p. 14.

gestellten Gefässbündelquerschnitt folgen nach oben auf die eine Gefässtracheïde: eine Vasalparenchymzelle, eine Siebröhre und eine Geleitzelle. Nach unten stösst an die Gefässtracheïde: eine Vasalparenchymzelle und an diese der Siebtheil, in welchem drei Siebröhren nebst Geleitzellen und fünf Zellen, die ich hier zunächst als Cribralparenchymzellen bezeichnen will, zu unterscheiden sind. Ein noch dünnerer, in Fig. 20, Taf. IV, abgebildeter Bündelzweig hatte im unteren Siebtheil drei Siebröhren nebst Geleitzellen und zwei Cribralparenchymzellen, falls wir die oberen Zellen als Vasalparenchymzellen auch hier gelten lassen wollen, aufzuweisen. In dieser Fig. 20 übersteigt die Grösse der Geleitzellen bereits um das Mehrfache diejenige ihrer Siebröhren. Die Reduction in der Zahl der Elemente des unteren Siebtheils schreitet noch weiter fort, während die Grösse der vorhandenen Geleitzellen anwächst, wie das die Figuren 21 bis 24, Taf. IV, zeigen sollen. In Fig. 21 ist im Anschluss an die untere Vasalparenchymzelle nur eine Geleitzelle nebst Siebröhre (links) und eine der Geleitzelle entsprechende Zelle ohne Siebröhre (rechts) vorhanden. Fig. 22 zeigt ein diesem ganz ähnliches Verhältniss. In Fig. 23 sind hingegen unter der Vasalparenchymzelle zwei Geleitzellen nebst kleinen Siebröhren vertreten. Ein nicht seltenes Vorkommen ist dasjenige der Fig. 24, wo zwei an Inhalt gleiche weitlumige Zellen als Repräsentanten des unteren Siebtheils an die Vasalparenchymzelle grenzen und eine enge, inhaltsarme Siebröhre zwischen sich einschliessen, ohne dass man oft zu unterscheiden im Stande wäre, von welcher der beiden Zellen diese abgetrennt wurden. Ueberhaupt sind die angeschwollenen inhaltsreichen Zellen, welche uns in dem unteren Siebtheil so reducirter Bündelzweige entgegentreten, weder dem Aussehen noch dem Inhalt nach verschieden, ob sie nun beide, wie in Fig. 23, oder nur die eine, wie in den Figuren 21, 22 und 24, oder endlich auch keine von beiden, wie in Fig. 26, von Siebröhren begleitet werden. Diese Zellen sind dicht mit Protoplasma erfüllt und führen einen grossen Zellkern. Es sind das diejenigen Zellen, die Alfred Fischer als „Uebergangszellen“ [1]) bezeichnet; er hält sie ganz allgemein für erweiterte Geleitzellen; thatsächlich sind aber manche dieser Uebergangszellen ohne begleitende Sieb-

1) Studien über die Siebröhren der Dicotylenblätter, p. 16.

röhre aus einer Gewebsmutterzelle hervorgegangen, in welcher die Längstheilung überhaupt unterblieb. Sie setzen die mit Siebröhren versehenen Geleitzellen direct fort. Es dürfte wohl richtiger sein, von erweiterten Geleitzellen überall da zu sprechen, wo die zugehörige Siebröhre noch vorhanden ist, die Bezeichnung Uebergangszelle auf die einfachen Zellen zu beschränken, welche ohne Abtrennung von Siebröhren das Siebröhrensystem fortsetzen. Uebergangszellen in diesem Sinne beginnen sich schon in Bündelenden zu zeigen, welche noch mehrere Siebröhren besitzen; so hatte in Fig. 20 die grosse Zelle links im unteren Siebtheil bereits alle Eigenschaften einer solchen Uebergangszelle aufzuweisen. Da diese Uebergangszellen sowohl, als auch die angeschwollenen Geleitzellen in solchen Bündelzweigen vorwiegend eine peripherische, die Siebröhren vorwiegend eine centrale Lage einnehmen, so veranlasste dies A. Koch [1]), dem diese Zellen unabhängig von A. Fischer auffielen, sie zunächst als „peripherische Zellen" zu bezeichnen. — Dass die mit Siebröhren versehenen erweiterten Geleitzellen und die Uebergangszellen functionell nicht verschieden sein dürften, folgt wohl aus ihrem völlig übereinstimmenden Inhalte. Während wir aber die engen Geleitzellen aufeinander folgender Siebröhrenglieder an ihren Enden nicht verbunden fanden, ist es unschwer zu constatiren, dass die erweiterten Geleitzellen und Uebergangszellen, nachdem der untere Siebtheil auf dieselben reducirt worden ist, in directem Zusammenhang auf einander folgen. — Die Reduction des unteren Siebtheils in den Bündelenden kann übrigens noch weiter fortschreiten, als es in den bis jetzt vorgeführten Figuren der Fall war. So zeigt uns die Fig. 27, an die Vasalparenchymzelle anschliessend, nur eine Uebergangszelle ohne Siebröhre. Die Vasalparenchymzelle war in diesem Falle sicher an ihrem Zellkern zu erkennen; in Fig. 29 nahm hingegen die Stelle der Vasalparenchymzelle, welche fehlte, eine Siebröhre über einer erweiterten Geleitzelle ein. Die Fig. 28 führt uns einen Fall vor, in welchem zwei Uebergangszellen direct an das Gefäss grenzten, somit jede Zelle fehlte, die als Siebröhre und als Vasalparenchymzelle hätte gedeutet werden können. Da es oft Schwierigkeit macht, sehr enge Siebröhren an ihren Geleitzellen zu erkennen, so bemerke ich,

1) Bot. Ztg. 1884, Sp. 401.

dass ich, nach vorausgegangenem Studium der aus Alcohol-Material dargestellten Schnitte in Glycerin, dieselben mit Eau de Labarraque behandelte und nochmals controlirte. Die Eau de Labarraque giebt aber so scharfe Bilder, dass sie wie mit Bleistift umzogen erscheinen. Die Fig. 30 führt uns endlich einen Fall vor, in welchem nur eine Uebergangszelle vorhanden war und direct an die Tracheïde grenzte. So begleiten die Uebergangszellen in Ein- bis Zweizahl die Tracheïde bis an das blinde Ende des Bündelzweiges, während die Siebröhren, nachdem ihr Querschnittinhalt innerhalb des Blattes sich (nach Berechnungen von Alfred Fischer) etwa um das Fünfzigfache verkleinert hat [1]), zuvor schon erlöschen. — Der obere Siebtheil begleitet die Tracheïde bis in die letzten Nervenenden. Im Allgemeinen folgt, wie fast sämmtliche meiner Figuren zeigen, auf die Tracheïde nach oben eine Vasalparenchymzelle, dann die Siebröhre, dann ihre Geleitzelle [2]). Nur eine Figur (Fig. 29, Taf. IV) ist unter den zahlreichen, von mir angeführten vertreten, in welcher der obere Siebtheil fehlte und eine erweiterte Vasalparenchymzelle allein über der Gefässtracheïde lag. Alfred Fischer giebt hingegen an [3]), dass die Bündelenden von Cucurbita niemals Siebröhren im oberen Siebtheil aufweisen. Der letztere hört zwar erst mit dem Gefässe auf, besteht aber in der Regel nur noch aus einer einzigen, gelegentlich auch aus zwei Reihen langgestreckter, protoplasmareicher und kernloser Zellen, an welchen alle Elemente fehlen, die man mit Geleitzellen identificiren könnte. Meine Beobachtungen stimmen in diesem Punkte mit den Fischer'schen nicht überein, und sind die von ihm geschilderten kernlosen Zellen eben nichts anderes, als die oberen Siebröhrenglieder. Bei Oberflächenansicht kommt die flache Geleitzelle über der Siebröhre zu liegen und ist kaum zu erkennen, was leicht zu irrigen Annahmen führen kann. Alles Cribralparenchym geht frühzeitig in dem oberen Siebtheil verloren, und von da an treffen auch die Geleitzellen mit ihren Enden auf einander. Um dies zu ermöglichen, muss aber die Geleitzelle an der einen Siebröhre eine constante Lage haben, und daher kommt es, dass

---

1) l. c. p. 16.
2) Vergl. auch den Gefässbündel-Längsschnitt Fig. 25, Taf. IV.
3) l. c. p. 21.

wir sie stets über der Siebröhre, nur hin und wieder etwas aus ihrer Lage seitlich verschoben, vorfinden. Die Geleitzellen haben, wie Längsansichten der feinsten Bündelnerven (Fig. 25, Taf. IV) lehren, meist die halbe Länge der Siebröhrenglieder. In letzteren sind bis zuletzt die spindelförmigen Schleimmassen an der Wandung zu sehen. Derselbe Längsschnitt, Fig. 25, der uns die obere Siebröhre mit ihren Geleitzellen vorführt, zeigt uns über und unter der Gefässtracheïde eine Vasalparenchymzelle und unter dieser eine Uebergangszelle. Dieser Längsansicht entsprach der Querschnitt Fig. 26.

Wie unsere Bilder, etwa die Figuren 26, 29, Taf. IV, lehren, nimmt das Gefässbündel, bei letzter Reduction, nur die Höhe der zweiten, weniger hohen Pallisadenschicht des Blattes in Anspruch. Es lässt sich leicht feststellen, wie dieses auch bereits durch Alfred Fischer geschah [1]), dass es in der That eine dieser Zellschicht entsprechende Zellreihe ist, deren Zellen durch wiederholte Theilungen den Bündelzweig liefern.

Der obere Siebtheil bleibt auch im ausgebildeten Blatte leitungsfähig, ungeachtet die Siebröhren desselben so inhaltsarm erscheinen. Wenn ich Blätter absichtlich verwundete und sie einige Stunden später durch Einlegen in Alcohol fixirte, pflegten in den Präparaten die oberen Siebröhren in der Nähe der Wunde, innerhalb der nach derselben führenden Bahnen, dicht mit stark lichtbrechendem Inhalt erfüllt zu sein. Das liess sich besonders leicht an Blattstücken feststellen, die nach erfolgter Fixirung mit Chloralhydrat durchsichtig gemacht wurden. Es lag nicht eine einseitige Ansammlung an den Siebplatten der einzelnen Siebröhrenglieder, vielmehr eine Anfüllung ihres ganzen Lumens vor, so dass die betreffenden Siebröhrenzüge sich wie stark lichtbrechende Stränge zeichneten. Der untere Siebtheil war hingegen in keiner Weise durch die erzeugte Wunde in der Vertheilung seines Inhalts beeinflusst. Es dürfte das mit der Englumigkeit und hierdurch bedingten weit geringeren Wegsamkeit der, ausserdem in die Uebergangszellen auslaufenden Siebröhren des unteren Siebtheils zusammenhängen, während die Siebröhren des oberen Siebtheils bis in die letzten Verzweigungen der Gefässbündel hinein weitlumig und daher auch sehr wegsam bleiben. Der untere, in seinem

1) l. c. p. 17.

Bau mit dem Siebtheil an der Unterseite der Gefässbündel in den Blättern anderer Angiospermen im Wesentlichen übereinstimmende Siebtheil von Cucurbita dürfte jedenfalls der Aufnahme und Ablagerung der in den Blättern erzeugten organischen Stickstoffverbindungen dienen, der obere Siebtheil hingegen an dieser Arbeit nicht betheiligt sein und während der Blattentwicklung seine Rolle ausspielen. In der That giebt ja Alfred Fischer an [1]), dass man den oberen Siebtheil vornehmlich in jungen Blättern in Function findet, derselbe in den ausgewachsenen Blättern hingegen sich entleert.

Die oben über die Function des oberen Siebtheils bei Cucurbita gemachte Annahme lässt sich auch gut mit der Angabe Alfred Fischer's [2]) in Einklang bringen, dass mit Ausnahme der Cucurbitaceen alle anderen mit bicollateralen Bündeln versehenen Dicotylen in den Bündelenden der Blätter nur noch collateral gebaut sind. Auch konnte ich constatiren, dass bereits unter den Cucurbitaceen bei Ecballium agreste der obere Siebtheil den Bündelenden abgeht.

In dem Blattstiele von Cucurbita konnten wir die innerste Rindenschicht des Stengels an dem Stärkegehalt ihrer Zellen wiedererkennen. Sie ist dort nur an der Aussenseite der einzelnen Gefässbündel in getrennten Stücken nachzuweisen. Der concentrirten Schwefelsäure widersteht sie nicht besser als die angrenzenden Gewebe. An den Bündeln in den Hauptrippen der Blätter wird die Bestimmung der innersten Mesophyllgrenze, die der innersten Rindengrenze entspricht, bereits unsicher. Um die Gefässbündelendigungen finden wir endlich Mesophyllzellen, die sich zum Theil durch keinerlei charakteristische Eigenschaften mehr auszeichnen und auch bei Anwendung von Schwefelsäure keinerlei charakteristische Merkmale hervortreten lassen. Die Mesophyllzellen, welche die feinen Gefässbündelauszweigungen umgeben, entsprechen hier nichtsdestoweniger der innersten Mesophyllschicht, somit auch einer innersten Rindengrenze. Was in Stengeltheilen relativ häufig vorkommt, dass die innerste Rindenschicht nicht merklich gegen den Centralcylinder abgesetzt sei, ist aber in dicotylen Blättern selten, und daher der Fall von Cucurbita in dieser Beziehung

---

1) Siebröhren-System etc., p. 64.

2) Studien über die Siebröhren, p. 23.

instructiv. So wenig sie als abgesetzte Scheide auch entwickelt sein mögen, eine Eigenschaft kommt allen diesen die Gefässbündelenden umgebenden Mesophyllzellen zu: sie sind lückenlos mit einander verbunden.

Von der Annahme ausgehend, dass in den Petalen von Cucurbita, die ja keinesfalls für Ableitung eingerichtete Siebtheile brauchen, dieses Verhältniss seinen Ausdruck in dem Bau der Gefässbündel finden würde, zog ich letztere auch in den Kreis meiner Untersuchungen. Alfred Fischer giebt in dieser Beziehung nur an [1]), dass die Blumenkrone von stärkeren und feineren Nerven durchzogen sei, welche den gleichnamigen Bildungen in den Laubblättern entsprechen. Er fügt hinzu, blinde Nervenenden mit Uebergangszellen habe er in den Petalen nicht auffinden können, und erwähnt schliesslich, dass am Rande des Kronenblattes die Nerven sich zu einem sympodialen Marginalstrang vereinigen, von welchem aus einige blind endigende Aeste nach der Blattperipherie auslaufen. Ich finde, dass auch innerhalb der Nervenmaschen der Blumenkrone blinde Nervenenden gar nicht selten sind. Nur die stärkeren Bündel der Blumenkrone zeigen bicollateralen Bau, die schwachen, welche die Maschen zwischen den stärkeren Bündeln bilden, wiesen einen Siebtheil nur an der Unterseite auf. In diesem unteren Siebtheil nun nimmt die Weite der Siebröhren nicht in dem Maasse wie in den unteren Siebtheilen der feineren Laubblattbündel ab, und es wachsen auch die Geleitzellen nicht entsprechend an. Es zeigt sich vielmehr die Grösse und das Grössenverhältniss dieser beiden Gebilde im Allgemeinen so beschaffen, wie wir das an der oberen Siebröhre und ihrer Geleitzelle in den Laubblattbündeln fanden. In solchen letzteren Bündelauszweigungen des Kronenblattes, welche blind endigen sollen, sieht man die Schraubentracheïden bald aufhören und die Siebröhren mit ihren Geleitzellen, von gestreckten Mesophyllzellen umscheidet, das Bündel allein fortsetzen. Ein solcher Siebstrang verzweigt sich oft noch viele Mal, und seine Zweige schliessen entweder an die Siebtheile anderer Bündel an, oder endigen blind im Gewebe. In ihrem Verlauf kreuzen solche Siebstränge häufig andere schwache Bündel, ohne mit ihnen zu verschmelzen. Die Zahl der Elemente nimmt allmählich in solchen Siebsträngen

1) Siebröhren-System etc., p. 75.

ab und kann bis auf eine Siebröhre nebst Geleitzelle sinken. Ausser solchen blind in Siebröhren auslaufenden Bündelenden giebt es auch nur aus Siebröhren bestehende Commissuren, welche hier und dort die Bündel unter einander verbinden. Zwischen blind endigenden Bündelästen und solchen Commissuren sind alle Uebergänge vorhanden. — Die Beobachtung aller dieser Verhältnisse in den Kronenblättern sind wesentlich dadurch erleichtert, dass es an Alcohol-Material leicht gelingt, die Kronenblätter mit den Nadeln in zwei Lamellen zu spalten. Der Inhalt der Siebröhren im Kronenblatte ist oft gleichmässig feinkörnig, oft dicht und stark lichtbrechend, oft auch so, wie wir ihn in den oberen Siebröhren der Laubblätter fanden, beschaffen. Die Geleitzellen treffen in den Petalen meistens, doch nicht immer, aufeinander. An Kronenblättern, in welche künstliche Einschnitte angebracht wurden, füllten sich die Siebröhren, somit hier diejenigen des unteren Siebtheils in der Nähe der Wunde ganz so dicht mit Inhalt an, wie wir es im Laubblatte an den oberen Siebröhren gesehen hatten. Die Erscheinung war hier in den Petalen noch viel auffallender als in den Laubblättern, die Siebröhren zeichneten sich in den mit absolutem Alcohol fixirten Objecten, als stark lichtbrechende, fortlaufende Stränge aus.

Es zeigen somit die anatomischen Daten und das Verhalten bei Verwundungen, dass die unteren Siebröhren der Petalen von Cucurbita Pepo so reagiren wie die oberen Siebröhren der Laubblätter derselben Pflanze. Siebröhren, Geleitzellen und Uebergangszellen von solchem Bau, wie wir ihn in den Gefässbündelenden der Laubblätter fanden, gehen den Kronenblättern ab, was die Annahme stützt, dass die unteren Siebtheile der Laubblattbündel nur der Ableitung der Eiweisskörper, somit einer Function dienen, die für die Petala ausgeschlossen bleibt. Auch gewinnt die Annahme hierdurch an Wahrscheinlichkeit, dass die angeschwollenen Geleitzellen und Uebergangszellen, somit jene Gebilde, die den Petala abgehen, es sind, welche die Aufnahme der in den Blättern erzeugten und zur Ableitung bestimmten Stoffe vermitteln. Die Aufgabe aber, welche den oberen Siebtheilen der Laublätter, den einzigen Siebtheilen der Petalen, zufällt, dürfte diejenige der Zuleitung von Eiweisskörpern sein, worauf wir an einer anderen Stelle zurückkommen wollen.

Als für diese späteren Erörterungen von Bedeutung, seien hier noch einige Angaben über die Gefässbündel der Blüthenstiele hinzugefügt. Die meist 20 Gefässbündel des langen, hohlen Stieles der männlichen Blüthen zeichnen sich, im Vergleich zu den Stengelbündeln, durch starkes Zurücktreten der Gefässtheile aus. Die Gefässe sind englumig, wenig zahlreich, auf einen relativ engen Raum im Innern des bicollateralen Gefässbündels zusammengedrängt. Die Entwicklung des Siebtheils hingegen erscheint bei Berücksichtung des geringeren Durchmessers der ganzen Gefässbündel nicht schwächer als im Stengel. Dieses Verhältniss ändert sich nicht, wenn man die Gefässbündel im Innern des Androeceum ins Auge fasst. Wie schon von Alfred Fischer hervorgehoben wurde [1]), tritt bei allen diesen Gefässbündeln der männlichen Blüthe auch die äussere, procambiale Zone nicht in Thätigkeit. — Anders ist es in den kurzen, dicken und zunächst soliden Blüthenstielen der weiblichen Blüthe [2]). In den meist 20 kräftigen, bicollateralen Gefässbündeln, welche denjenigen des männlichen Blüthenstieles entsprechen, bleibt die äussere Cambiumzone thätig und vermehrt mit beginnender Fruchtentwicklung die Zahl der Gefässbündelelemente. So erhalten die 20 starken Gefässbündel des Fruchtstieles schliesslich einen ansehnlichen Gefässtheil, in welchem die Weite der Gefässe zwar diejenige im Stengel nicht erreicht, wohl aber deren Zahl überschreitet. Ein nicht minder ansehnlicher Siebtheil begleitet diese Gefässbündel auf der Innen- und Aussenseite. Ausser diesen 20 starken Gefässbündeln durchsetzen auch zahlreiche kleinere und kleine den Blüthenstiel, mit den starken vielfach anastomosirend. Diese Gefässbündel sind fast ausschliesslich collateral, meist mit vorwiegender Ausbildung des Siebtheils gebaut. — Für den Stiel der männlichen Blüthe giebt Alfred Fischer bereits an [3]), dass die Siebtheile der 20 Gefässbündel durch Commissuren verbunden sind, und dass ausserdem dünne Siebstränge zwischen den Gefässbündeln und zwar besonders an deren Innenseite verlaufen. Innerhalb und ausserhalb des Collenchymringes, sowie des Sklerenchymringes sind wie im Stengel zahlreiche, obliterirte, durch

---

1) l. c. p. 74.
2) Vergl. auch Alfred Fischer, l. c. p. 77.
3) l. c. p. 74.

Commissuren mit den Gefässbündeln verbundene Siebröhren nachzuweisen, welche vielfach erst nach Abfallen der Blüthe vom Stiel obliteriren[1]). Nicht minder bildet, nach Alfred Fischer[2]), auch der weibliche Blüthenstiel, bevor er seine Streckung vollendet hat, transitorische Siebröhren in seinen peripherischen Theilen, in Beziehung zu dem Collenchym- und Sklerenchymringe aus, und wo letzterer unterbrochen ist, da bleiben auch die transitorischen Siebröhrenzüge aus. Erst nach vollendeter Streckung des Blüthenstieles verholzen die Elemente des Sklerenchymringes, und ungefähr zu der nämlichen Zeit obliteriren auch die transitorischen Siebröhren[3]). — Das Innere einer Frucht zeigt sich von einem sehr reichen Netze zum Theil bicollateraler, zum Theil collateraler Gefässbündel durchsetzt, in welchem die Ausbildung von Gefäss- und Siebtheil sich entweder das Gleichgewicht hält, oder auch der Siebtheil dominirt, und zwischen welchen ausserdem auch nur auf den Siebtheil beschränkte Stränge verlaufen. Der Siebtheil fällt überall durch seinen Plasmareichthum auf; und ebenso plasmareich erscheinen auch die bicollateralen Gefässbündelstränge, welche die Samenanlagen versorgen. Die zahlreichsten Gefässbündel weist die Fruchtwandung auf; weniger zahlreich sind die Gefässbündel in den Scheidewänden; am wenigsten zahlreich innerhalb der Fächer. Dem Gewebe der Fruchtwandung gegenüber fällt das innere Gewebe der Frucht nicht allein durch die Grösse seiner Elemente und ihr Saftreichthum, sondern, in halb ausgewachsenen Früchten, auch durch seinen Gehalt an Stärke auf. — Alle diese Angaben werden wir später bei specieller Behandlung der Leitung plastischer Stoffe in der Pflanze zu verwerthen suchen.

Es fällt bei der Untersuchung von Cucurbita Pepo der Mangel eines jeden sichtbar abgelagerten Nebenproductes in den inneren Geweben auf, und auch mit Hilfe der gewohnten Reagentien sind solche Nebenproducte dort nicht nachzuweisen. Zur Aufnahme der Nebenproducte dienen vielmehr die so reichlich die ganze Oberfläche deckenden Haare. Die grossen Haare führen in ihren oberen sich zuspitzenden Theilen Calciumcarbonat.

---

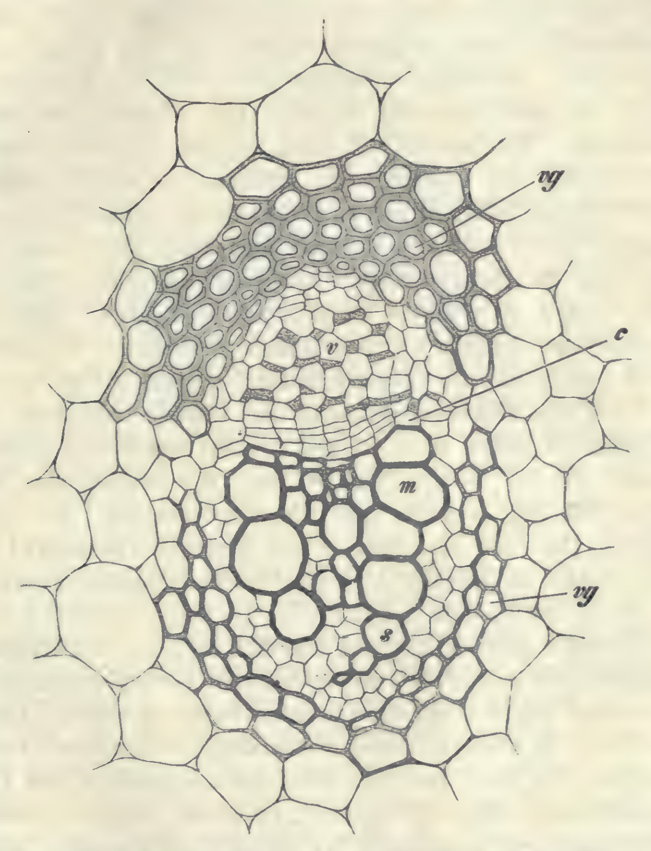
1) Ebendas.
2) l. c. p. 77.
3) l. c. p. 78.

In der kugelig angeschwollenen Zelle der Köpfchenhaare ist eine stark quellbare Substanz vertreten, und die an das Köpfchen zunächst grenzende Zelle zeigt sich meist gerbstoffhaltig. Und damit ist die ganze Mannigfaltigkeit der Haarbildungen von Cucurbita noch nicht erschöpft. Es hat dieselbe auch kurze, mit mehrzelligen Köpfchen versehene Trichome und stellenweise an der Lamina vielzellige, kegelförmige Emergenzen aufzuweisen, die sämmtlich secretorischen Zwecken dienen. Diese Bedeutung der Haare, trotzdem sie wohl bekannt, scheint mir bei den Fragen nach der Function der Haare nicht hinlänglich berücksichtigt worden zu sein. Es ist mir sehr wahrscheinlich, dass vielfach stark verdickte Haare, die keine nachweisbaren Secrete enthalten, schon in ihrer verdickten Wandung eine Substanz repräsentiren, welche im Stoffwechsel erzeugt, im Innern der Pflanze keine Verwendnng finden konnte.

Im Wesentlichen das Nämliche wie für den Bau von Cucurbita Pepo gilt auch für den Bau von Bryonia dioica. Ich will deshalb auch nicht von Neuem auf die Beschreibung dieser Pflanze eingehen, erwähne sie hier aber deshalb, weil meine Versuche über Leitungswege und Leitungsgeschwindigkeit bei Cucurbitaceen vornehmlich an Bryonia ausgeführt wurden.

In meinem „Botanischen Practicum“ habe ich bereits auf die grosse Uebereinstimmung zwischen den Gefässbündeln von Ranunculus repens und denjenigen der Monocotylen hingewiesen. So wollen wir auch hier die Ranunculaceen benutzen, um den Uebergang zu den Monocotylen zu finden, andererseits innerhalb der Ranunculaceen selbst noch den Vergleich zwischen dem Bau einer krautartigen und einer holzbildenden Art anstellen. — Die Gefässbündel der Ausläufer von Ranunculus repens (vergl. den Holzschnitt auf S. 307) zeigen an ihrem Innenrande dünnwandiges Vasalparenchym, in welches zunächst einige, mehr oder weniger desorganisirte Vasalprimanen, dann an Weite zunehmende Schraubentracheïden eingebettet sind. Auf diese folgen Gefässe mit quergestreckten Tüpfeln, schliesslich solche mit typisch ausgebildeten Hoftüpfeln. Cambiumwärts nimmt nun die Weite der Gefässe wieder ab, und zwar vornehmlich in dem mittleren Theil des Bündels. Die relativ engen mittleren Gefässe bilden eine zusammenhängende Gruppe, in welcher das Vasalparenchym schliesslich ganz fehlt. Diese

Gruppe hat somit als ein einheitliches Ganze, gewissermaassen als ein einziges Gefäss, zu wirken. Alle Elemente dieser Gruppe



Querschnitt durch das Gefässbündel eines Ausläufers von Ranunculus repens. *s* Schraubengefässe, *m* behöft getüpfeltes Gefäss, *c* Cambium.

sind behöft getüpfelt und ihre Querwände von je einem Loch durchbohrt. So auch haben die geneigten Terminalwände dieser Gefässe ein grösseres oder kleineres Loch aufzuweisen, man findet vereinzelt aber auch solche, die nur Hoftüpfel zeigen. Das Cambium wird von mehreren Schichten flacher, unverholzter, in geraden Reihen angeordneter Zellen gebildet. Der Siebtheil besteht aus Siebröhren und Geleitzellen in ziemlich regelmässiger Abwechslung. Einzelne Cribralprimanen schliessen an diese Elemente an. Die Geleitzellen treffen in diesen Gefäss-

bündeln aufeinander, entsprechend wie bei Monocotylen, was sich ohne weiteres aus dem Umstande erklärt, dass hier, wie bei den Monocotylen, Cribralparenchym zwischen den Siebröhren fehlt. Die Siebröhren zeigen hier, entsprechend den für primäre Siebtheile allgemein giltigen Verhältnissen, nur wenig geneigte Querwände. Sie sind auffallend reich an der sich mit Jodlösung weinroth färbenden Stärke. Eine Scheide aus Sklerenchymfasern, die besonders kräftig um den Siebtheil entwickelt ist, umgiebt die Bündel. Sie schliesst an dem Aussenrande des Siebtheils meist direct an die Cribralprimanen an; von den Gefässen des Vasaltheils wird sie, der Hauptsache nach, durch eine Lage parenchymatischer Elemente getrennt. Eine ebensolche Lage gestreckter Parenchymzellen grenzt aber auch den Siebtheil seitlich von der Sklerenchymscheide ab und kann selbst aussen um die Cribralprimanen greifen. Diese den Siebtheil von den Sklerenchymfasern der Scheide trennende Parenchymschicht kehrt auch in mehr oder weniger ausgeprägten Formen bei den Monocotylen wieder, das heisst, bei solchen Gefässbündeln, welche kein Cribralparenchym im Siebtheil führen. Bei den Monocotylen ist diese Gewebsschicht schon Westermaier aufgefallen [1]), worauf zurückzukommen sein wird. Sie gehört bereits dem Grundgewebe des Centralcylinders an, und fällt ihr die Aufgabe zu, den Siebtheil mit dem ausserhalb der Gefässscheide gelegenen Grundgewebe in Verbindung zu bringen, was durch Vermittlung der Durchlassstellen geschieht. Letztere, mit dieser Parenchymschicht verbunden, werden von Elementen gebildet, die sich von den verdickten Elementen der Gefässbündelscheide durch ihre parenchymatische Gestalt, schwächere Verdickung und schwächere Verholzung auszeichnen, und die sogar unverholzt bleiben können. In dem Vasalparenchym des Bündels, sowie in dem Parenchym zwischen Gefässbündel und Sklerenchymscheide, konnte ich hier auf keinem Entwicklungszustand Stärke, auch nicht Gerbstoff, nachweisen, wohl aber war die von aussen an die Gefässbündelscheide grenzende Grundgewebsschicht stets stärkehaltig, auch selbst in denjenigen Fällen, in welchen das übrige Grundgewebe keine Stärke führte.

---

1) Neue Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Bedeutung des Gerbstoffes in den Pflanzengeweben. Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1887, p. 136.

Die stärkehaltige Grundgewebsschicht umfasst die Gefässbündelscheide mehr oder weniger vollständig, ohne jedoch vor dem Gefässtheile zusammenzuschliessen. Es liegt zunächst nahe, die stärkehaltige Gewebsschicht als Stärkescheide zu deuten, sie ist es aber nicht, ist auch nicht scharf abgegrenzt und von Intercellularen durchbrochen. Keinenfalls entspricht diese stärkehaltige Gewebsschicht hier der innersten Rindenschicht, welche in den Ausläufern von Ranunculus repens thatsächlich nicht besonders markirt ist. Daher auch Marié [1]), der das Verhalten der „Endodermen" bei den Ranunculaceen speciell verfolgt hat, sich über Ranunculus repens wenig bestimmt ausspricht [2]). Die Ranunculus-Arten bieten aber in Hinsicht der „Endodermen" mannigfache Verschiedenheit und Abweichungen, die eine theoretische Besprechung hier nothwendig machen. Van Tieghem bezeichnet als Endodermis die innerste Schicht der Rinde [3]), gleichgiltig ob dieselbe sich durch besondere Eigenthümlichkeiten auszeichnet oder nicht. Ich stimme mit Van Tieghem darin überein, dass es nothwendig ist, an dieser innersten Grenze festzuhalten, auch wo dieselbe gegen den Centralcylinder nicht abgesetzt ist; habe aber Bedenken, die Bezeichnung Endodermis für diese innerste Rindengrenze anzuwenden. Denn die Bezeichnung Endodermis ist von der Schutzscheide der Wurzel übernommen, die durch besondere charakteristische Eigenschaften ausgezeichnet ist, welche ihr diese Bezeichnung verschafften. Die Endodermis der Wurzel ist in der That eine innerste Rindenschicht, aber nicht alle innersten Rindenschichten, vornehmlich im Stamm, haben einen solchen Bau aufzuweisen. Ja vielfach ist die innerste Rindenschicht gar nicht gegen den Centralcylinder abgesetzt, und passt dann sehr wenig die Bezeichnung „innere Haut" auf dieselbe. Andererseits kommen Scheiden von ganz dem nämlichen Bau wie die Wurzelscheide vor, die nicht an die innerste Rindenschicht gebunden sind, vielmehr andere morphologische Bedeutung haben. Van Tieghem hat denn auch das Bedürfniss empfunden, den Begriff der „assise plissée" [4])

1) Recherches sur la structure des Renonculacées, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XX, p. 5.

2) l. c. p. 82, 83.

3) Traité de Botanique, II. Aufl., p. 674, 681, 738, 752.

4) Traité de Botanique, II. Aufl., p. 605 u. a. O.

von demjenigen der Endodermis zu trennen. Ich halte es für richtiger, die Bezeichnung Endodermis im alten Sinne zu brauchen und sie auf alle Scheiden anzuwenden, die der Wurzelendodermis gleich gebaut sind, dagegen aber die innerste Schicht der Rinde als „innerste Rindenschicht“, wo nöthig, hervorzuheben, eventuell als Rindengrenze „Phloioterma“ oder einfacher Phloeoterma zu bezeichnen. Die innerste Rindenschicht wird darnach als Endodermis entwickelt sein können, oder auch nicht, andererseits auch Endodermen in einem anderen Gewebssystem sich ausbilden. Die Bezeichnung „Endodermis“ wird so zu einem histologischen und nicht zu einem morphologischen Begriff, während „innerste Rindenschicht“ oder „Phloeoterma“ nur in morphologischem Sinne zu brauchen ist. Gewebsschichten mit cutinisirtem Radialbande können ebenso gut an morphologisch differenten Orten, wo ein luftdichter Abschluss und zugleich Durchlässigkeit für Wasser sie erheischt, sowie Verdickungen und Sklerificirungen von Zellen dort, wo es um luftdichten Abschluss, Abschluss des Wassers, und mechanische Verstärkung zu thun ist, auftreten. In Endodermen können aber weiterhin auch Verdickung und Verholzung der Verdickungsschichten erfolgen, wenn die Durchlässigkeit für Wasser nicht mehr nöthig ist, Festigung und Abschluss aber erforderlich werden. Cutinisirung radialer Membrantheile in den Zellen hat Sanio [1]) vor Zeiten auch in den Korkzellen von Melaleuca beobachtet, neuerdings J. E. Weiss [2]) bei verschiedenen anderen Korkzellen, deren Verkorkung zunächst partiell an den Radialwänden beginnen und „absolut identisch mit dem dunklen Punkte der Caspary'schen Schutzscheiden“ sich verhalten soll. Die Ausbildung als „Endodermis“ darf somit, ebensowenig wie diejenige als „Stärkescheide“, benutzt werden, um die innere Grenze der Rinde gegen den Centralcylinder zu bestimmen. — In dieser Beziehung sind eben die Ranunculus-Arten sehr instructiv und gaben daher auch besonderen An-

---

1) Vergl. Unters. über den Bau und die Entwicklung des Korkes, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. II, p. 102, auch Abbildung Taf. XII, Fig. 79, und: Einige Bemerkungen in Betreff meiner über Gefässbündelbildung geäusserten Ansichten, Bot. Ztg. 1865, p. 176.

2) Beiträge zur Kenntniss der Korkbildung, Denkschrift d. bot. Gesellsch. zu Regensburg, 1890, p. 9.

stoss zu dieser Erörterung. Die Stengel der Ranunculi zeigen nämlich Endodermen um einzelne Gefässbündel, „Einzelendodermen“, wie man sie nennen könnte, oder gemeinsame Endodermen „Gesammtendodermen“, in mehr oder weniger ununterbrochener Ausbildung. Nah verwandte Arten, die derselben De Candolle'schen Section angehören, verhalten sich in dieser Beziehung verschieden. So giebt Marié [1]) innerhalb der Section Hecatonia für den Stengel von Ranunculus aconitifolius, parnassifolius, amplexicaulis eine Gesammtendodermis an, Einzelendodermen für Ranunculus Lingua, Flammula; eine Gesammtendodermis ist ihm wahrscheinlich für Ranunculus cymbalariae; Ranunculus auricomus soll wieder Specialendodermen haben. Gesammtendodermen kommen nach Marié Ranunculus multifidus, acris, polyanthemos, lanuginosus und wahrscheinlich auch Ranunculus repens und bulbosus zu, während bei noch anderen die Bestimmung der Endodermis unsicher blieb. Bei Ranunculus multifidus, dessen Rhizom auch untersucht wurde, fanden sich in diesem Specialendodermen, während für den Stengel Gesammtendodermis angegeben wird. — Sollte nun die Endodermis stets Phloeoterma sein und die innere Grenze der primären Rinde angeben, so wäre, als Consequenz hiervon, bei Ranunculus-Stengeln von sonst völlig übereinstimmendem Bau, einmal das ganze Grundgewebe zwischen den Gefässbündeln von der Rinde, das andere Mal vom Grundgewebe des Centralcylinders eingenommen. Diese Consequenz zieht denn auch Van Tieghem [2]), indem er einen Theil der Ranunculus-Arten als „astelisch“ bezeichnet, das heisst als so gebaut, dass die Rinde im Stengel bis zum Centrum reicht. Soll aber wirklich Stele [3]) gleichbedeutend mit Centralcylinder benutzt werden, wie es ja auch Van Tieghem will, so lässt sich eine derartige Auffassung des Baues der betreffenden Ranunculus-Arten nicht rechtfertigen. Vergleichend-morphologische Gesichtspunkte müssen über die histologischen gestellt werden und die morphologische Deutung bestimmen. Solche Vergleiche müssen aber zu dem Ergebniss führen, dass in allen Ranunculus-Arten die

---

1) l. c. p. 80.

2) Traité de Botanique, II. Aufl., p. 764.

3) Vergl. hierzu Van Tieghem et Douliot, Sur la Polystélie, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. sér., T. III, p. 275, und Van Tieghem, Traité de Botanique, II. Aufl., p. 764.

Grenze zwischen Rinde und Centralcylinder an derselben Stelle liegt, und dass diese somit monostelisch gebaut sind.

Ich halte somit alle Ranunculus-Stengel für monostelisch und möchte, soweit meine Erfahrungen reichen, annehmen, dass, wo Gesammtendodermen bei diesen Ranunculaceen vorliegen, diese aus der innersten Rindenschicht, dem Phloeoterma, sich entwickelt haben. Nicht so die Einzelendodermen.

Der Blüthenschaft von Ranunculus repens verhält sich wie die Ausläufer, doch fand ich dort stellenweise die an den Durchlassstellen der Bündel gelegenen Zellen mit cutinisirtem Radialbande versehen, somit als Endodermiszellen entwickelt.

Die Blattstiele sind schizostelisch gebaut, wie man das besonders an ihrer Basis leicht constatiren kann. Die einzelnen von ihren Gefässbündelscheiden umgebenen Gefässbündel, richtiger Theilstücke des Gefässbündelcylinders, oder Schizostelen, sind dort in einem flachen, nach oben offenen Bogen angeordnet. Van Tieghem nennt einen solchen Bau astelisch, ich ziehe die Bezeichnung „schizostelisch" vor, da thatsächlich der Centralcylinder sich gespalten und in seine einzelnen Theilstücke zerlegt hat. Der ursprüngliche Centralcylinder als solcher hört bei einer derartigen Spaltung auf, doch Theile seines Grundgewebes bleiben als solche um die einzelnen Gefässbündel bestehen. Die Schizostelie ist von der Polystelie, wie sie auch Van Tieghem aufstellt, dadurch verschieden, dass sich zur Erzeugung von Polystelie die Monostele vollständig in zwei oder mehr Stelen theilt, welche Gefässbündel aufweisen, die um gemeinsame Centren gruppirt sind, während bei Schizostelie die ursprüngliche Stele in ihre einzelnen Gefässbündel zerfällt, diese, jedes für sich, von Theilen des Grundgewebes der Stele umscheidet werden und nur ein Theil des Grundgewebes der Stele in diese Umscheidung eingeht. Meiner Meinung nach liegt aber in allen Blattstielen Schizostelie und nicht Astelie, aber auch nicht Monostelie vor, indem auch dort, wo die Blattstielbündel zu einem geschlossenen Kreise gruppirt und von einem gemeinsamen Pericykel und einer gemeinsamen Stärkescheide oder Endodermis umgeben sind, das Centralgewebe, das sie umschliessen, nicht Markgewebe ist. Wäre dasselbe Markgewebe, so hätte es sich in das Markgewebe des Stammes fortzusetzen, während thatsächlich stets auch ein solcher, scheinbar monostelischer Gefässbündelkreis des Blattstiels sich beim Eintritt in

den Stengel öffnet und das Gewebe, das er umgab, in die Rinde des Stammes übergeht. So fanden wir es bei Vitis, Tilia und Cucurbita, so ist es auch in anderen Fällen.

In dem Maasse als sich der Blattstiel von Ranunculus repens in seinen oberen Theilen abrundet, schliesst der von den Schizostelen gebildete Bogen nach oben zusammen. Die um die einzelnen Schizostelen befindlichen, dem Grundgewebe des Centralcylinders zugehörigen Scheiden, die hier zunächst weiter als Gefässbündelscheiden bezeichnet werden mögen, erfahren in ihrem Aufwärtslauf eine Veränderung. Die Zahl der sklerenchymfaserähnlichen Elemente nimmt ab, und es stellt sich in einer bestimmten Höhe eine Endodermis ein. Sie erscheint zunächst meist um die Gefässtheilseite des Bündels, dann auch um die Siebtheilseite. Ihr Auftreten geht der Reduction beziehungsweise dem Schwinden der verdickten Elemente der Gefässbündeltheile zu beiden Seiten des Bündels voraus. Sie vermittelt diesen Uebergang. Um den Gefässtheil tritt sie ausserhalb der verdickten Elemente der Gefässbündelscheide auf; um den Siebtheil innerhalb dieser verdickten Scheidenelemente, so zwar, dass etwa eine Schicht dickwandiger Elemente noch zwischen dem Siebtheil und der Endodermis verbleibt. Die Zellen dieser Endodermis sind flach, in typischer Weise an den radialen Wänden verdickt und verkorkt, im Uebrigen dünnwandig, doch cutinisirt im ganzen Umfang. Nur auf kurze Strecken oberhalb des zweiten Dritttheils des Blattstiels tritt die Endodermis nach Schwefelsäurebehandlung um das ganze Gefässbündel auf; zuerst trifft man sie meist, wie schon erwähnt, nur um die Gefässtheilseite, zuletzt meist nur um die Siebtheilseite. Bevor das obere Ende des gemeinsamen Blattstiels erreicht ist, schwindet wieder diese Endodermis, wie vor ihr die verdickten Elemente der Gefässbündelscheide verschwunden sind. Innerhalb der Blattstielchen, sowie der Mittelrippe der Blättchen, treten nach Schwefelsäurebehandlung in keiner der die Gefässbündel umgebenden Zellschichten cutinisirte Bänder hervor. Es fehlt somit der directe Zusammenhang zwischen dieser vorübergehend hier auftretenden Endodermis und den parenchymatischen Scheiden, welche die letzten Auszweigungen der Gefässbündel in der Lamina lückenlos umschliessen. Was die stärkehaltigen Zellen anbetrifft, die wir im Stengel auf der Aussenseite der Gefässbündelscheiden vorfanden, so sind diese

in dem Blattstiel an derselben Stelle an den Gefässbündeln vertreten, und es liegt kein bestimmter Grund vor, sie für die innerste Rindenschicht zu halten. So fand denn auch Marié in Fällen, wo die innerste Rindenschicht sicher die Endodermis bildete, wie in der Wurzel von Ranunculus hederaceus, dieselbe Stärkeschicht ausserhalb dieser Endodermis [1]).

An allen den Objecten, die wir bis jetzt untersucht haben, stellte sich übereinstimmend heraus, dass die innerste Rindenschicht des Stammes den austretenden Gefässbündeln nur auf deren Aussenseite folgte, ohne dieselben vollständig zu umschliessen. Das findet in der That nur dann statt, wenn das Phloeoterma als Endodermis ausgebildet ist und es gilt, austretende Gefässbündel luftdicht abzuschliessen, und diesen luftdichten Verschluss in Verbindung mit demjenigen des Stammes zu bringen. Das kann man beispielsweise bei Galium Aparine studiren. Der Centralcylinder des Stammes ist dort von einer mit cutinisirtem Radialbande versehenen Endodermis umschlossen; eine ebensolche Endodermis weisen alle Blattbündel auf. Sie werden dann auch gleich bei ihrem Austritt aus dem Centralcylinder mit einer solchen Endodermis im Umkreise versehen, die an diejenige des Centralcylinders ansetzt, ähnlich etwa wie eine an einer Mutterwurzel austretende Tochterwurzel. In einem solchen Falle wie bei Galium Aparine setzt sich dann thatsächlich die Endodermis des Stammes bis zu den letzten Auszweigungen der Blattbündel fort, und ist somit Continuität zwischen der innersten als Endodermis entwickelten Rindenschicht im Stamme und der innersten als Endodermis entwickelten Mesophyllschicht im Blatte gegeben. In der grossen Zahl der Fälle existirt aber eine solche Continuität nicht. Auch wo wir die als Stärkescheide entwickelte innerste Rindenschicht des Stammes in den Blattstiel verfolgen konnten, hielt sie sich dort nur an die Aussenseite des Gefässbündels und wurde alsbald ganz unkenntlich. Das Gefässbündel wurde weiterhin umscheidet von den es begleitenden Elementen des Centralcylinders des Stammes, und erst in dem Maasse, als dieser Centralcylinder zu schwinden begann, stellte sich die Scheide aus der innersten Mesophyllschicht ein, welche unter Umständen selbst den Charakter einer Endodermis annehmen konnte. Diese

1) l. c. p. 72, Taf. IV, Fig. 33.

innerste Mesophyllschicht entspricht in der That der innersten Rindenschicht des Stammes, sie ist ein Phloeoterma, doch die von Van Tieghem angenommene Continuität des Stamm-Phloeoterma in das Blatt-Phloeoterma ist nicht vorhanden [1]).

Die dreitheilige Lamina des Blattes von Ranunculus repens zeigt netzadrige Nervatur. Die letzten Auszweigungen endigen blind in den Maschen, meist nach vorausgehender Anschwellung. In jedem Zahne schliesst ein mittleres und zwei seitliche Bündel gemeinsam ab. Sie lösen sich dort pinselförmig in einem Epithem auf, das aus stark eingefalteten, fast maulbeerartig erscheinenden Zellen besteht. Das Epithem erreicht die Epidermis der Oberseite dicht unter der Zahnspitze, und die betreffende Stelle ist als rundes Wärzchen, das sich seines Luftmangels und geringem Chlorophyllgehalts wegen auch heller zeichnet, schon mit der Lupe zu erkennen. Die Epidermis über dem Epithem führt Wasserspalten, die nicht grösser als die benachbarten Luftspalten sind, aber einen weit geöffneten Spalt und todte Schliesszellen aufweisen.

Die Gefässbündel erfahren bei fortschreitender Verzweigung eine entsprechende Reduction, die gleichmässig den Gefäss- und den Siebtheil trifft. Der Cambiumstreifen schwindet zwischen beiden. Die Geleitzellen zeigen alsbald dieselbe Weite wie die Siebröhren, ausserdem liegen um den Siebtheil noch inhaltsärmere Zellen, welche dem Vasalparenchym und den parenchymatischen Grundgewebselementen des Centralcylinders den Ursprung verdanken (Taf. IV, Fig. 31). Bei fortschreitender Reduction ist der Siebtheil alsbald nur noch auf einige Siebröhren, Geleitzellen und gestreckte Parenchymzellen beschränkt. Es kommt vor, dass bei solcher Reduction eine Siebröhre an eine Schraubentracheïde unmittelbar gelangt, dann zeigt sich die entsprechende Wand der Tracheïde ganz gleichmässig verdickt. Die verschiedenen Combinationen, welche die reducirten Bündel dem Beobachter bieten, werden durch unsere Figuren 32 bis 35, Taf. IV, vorgeführt. In Fig. 36, Taf. V, zeigt sich das Bündel gebildet von zwei Schraubentracheïden und einer Siebröhre nebst Geleitzelle; in Fig. 37, Taf. V, aus drei Tracheïden und einer Grundgewebs-Parenchymzelle. Die Fig. 38, Taf. V, führt uns endlich ein Bündelende vor, das nur noch aus Tracheïden be-

1) Traité de Botanique, II. Aufl., p. 852.

steht. Mit letzteren allein schliessen die blinden Gefässbündelenden ab. Sehr kurze Seitenzweige haben in ihrem ganzen Verlauf nur Tracheïden aufzuweisen. Umscheidet werden auch die blind endigenden Bündelzweige von lückenlos verbundenen Mesophyllzellen, die ihre Chlorophyllkörner nur an den das Bündel nicht berührenden Wänden tragen, und die als Blatt-Phloeoterma gelten müssen. Die Angaben Alfred Fischer's über die Gefässbündelendigungen bei Ranunculus [1]) stimmen im Wesentlichen mit den meinigen überein. — Nach alledem bestehen die letzten Auszweigungen der Gefässbündel in den Maschen der Ranunculusblätter aus engen Siebröhren, deren Durchmesser bis unter ein Viertheil des im Stengel gegebenen sinkt; aus inhaltsreichen Geleitzellen, deren Weite im Verhältniss zum Stengel nicht nur nicht abnimmt, sondern steigt; aus Grundgewebs-Parenchymzellen und aus Schraubentracheïden, die zuletzt anschwellen und allein das Bündel abschliessen. Eigentliche Uebergangszellen, das heisst ungetheilt gebliebene Gewebsmutterzellen in der Fortsetzung einer Siebröhren-Geleitzellreihe waren hier nicht nachzuweisen. — Sehr kurze Seitenzweige, die Alfred Fischer als Nebenzweige bezeichnet, bestehen, wie schon erwähnt wurde, meist nur aus Tracheïden.

Als Object für das Studium mit dauerndem Dickenwachsthum begabter Ranunculaceen wählte ich Clematis flammula. Ich hielt mich an diese Art, weil mir von derselben die dicksten Stammtheile zur Verfügung standen.

Der Querschnitt durch ein Internodium, welches sein Längenwachsthum eben vollendet hat, zeigt die Gefässbündel auf demjenigen Entwicklungszustande angelangt, der bei Ranunculus repens nicht überschritten wird. Stärkere und schwächere Bündel, im Kreise um das weite Mark angeordnet, wechseln mit einander ab. Die stärkeren Gefässbündel sind nach innen zugespitzt, die schwächeren abgerundet. Diesen schwächeren Bündeln fehlen die Vasalprimanen. Der Bau der Bündel stimmt mit demjenigen von Ranunculus nahe überein, nur dass die Weite der Gefässe, den Anforderungen eines Schlinggewächses gemäss, bedeutender wird. Noch grösser als bei Ranunculus ist hier die Menge der

1) Studien über die Siebröhren der Dicotylenblätter, 1885, Fig. 22, Taf. II.

in den Siebröhren enthaltenen Stärke; sie fällt, weinroth gefärbt, an jedem mit Jod behandelten Querschnitte in die Augen. Die Körner erreichen hier auch eine für Siebröhrenstärke ungewohnte Grösse, im Durchschnitt 0,002 mm. Die weiten Siebröhren und engen Geleitzellen wechseln mit einander in derselben regelmässigen Weise wie bei Ranunculus ab. Der Siebtheil ist nach aussen von einem starken Sklerenchymfaserstrange gestützt, welcher aber nicht die Elemente des Siebtheils erreicht, vielmehr von denselben durch dünnwandiges Gewebe getrennt bleibt. Dieses besteht aus kürzeren parenchymatischen Elementen am Siebtheil und geht in langgestrecktere, sklerenchymfaserähnlichere Elemente in dem Maasse über, als es sich dem Sklerenchymstrang nähert. Das nämliche parenchymatische Gewebe, das zunächst dem Aussenrande des Siebtheils liegt, umgrenzt auch seine Flanken, ähnlich wie wir das bei Ranunculus fanden. Derselbe Entwicklungszustand, der die Sklerenchymfasern der Gefässbündel-Belege bereits verdickt und verholzt zeigt, führt uns auch den Gefässtheil der Bündel von verholztem Grundgewebe umgeben vor. Letzteres schliesst zwischen den Bündeln zusammen, so dass die primären Gefässtheile der Bündel in eine zusammenhängende Masse verholzter Elemente eingebettet sind. Die Wandverdickung hält in diesen Elementen lange Zeit an. Die verholzten Elemente reichen innerhalb der die Bündel trennenden Grundgewebsstreifen, der primären Markstrahlen, genau bis an diejenige Schicht heran, welche, in den Internodien, die ihr Längenwachsthum eben vollendet haben, sich tangential zu theilen und als Interfascicularcambium thätig zu werden beginnt. — Solange das Längenwachsthum des Internodiums anhält, sind in den Gefässtheilen der Bündel nur die Gefässprimanen fertig gestellt, somit die kleinen, schwächeren Bündel noch ganz ohne Gefässe. Andererseits werden in den Internodien, welche dem Ende ihres Längenwachsthums sich nähern, durch Thätigkeit des Cambiums die Zellreihen vorgebildet, welche die nächstfolgenden, bleibenden Gefässe liefern sollen. Aehnliches findet für die Elemente des Siebtheils statt. Nicht minder werden die Sklerenchymfaserbelege der Bündel schon angelegt, doch nicht verdickt. — Die innere Grenze der Rinde markirt sich in solchen Internodien durch ihren Stärkereichthum, doch führt sie, auffallender Weise, ihre Stärke hier nicht vor den Sklerenchymsträngen, vielmehr nur an den Flanken derselben und vor

den primären Markstrahlen. Vor letzteren wird die Stärkeschicht zwei Zelllagen stark, um an den Flanken der Sklerenchymbelege in eine Zelllage auszulaufen. Diese Stärkescheide ist in keiner Weise gegen den Centralcylinder oder die übrige Rinde abgesetzt. Sie senkt sich bogenförmig zwischen die einzelnen Bündel ein, so dass die das Interfascicularcambium bildende Zellschicht nur um eine Zelllage von ihr entfernt bleibt. Es lässt sich hier somit sehr wohl der Ursprung des Interfascicularcambiums im Gewebe des Pericykels annehmen. Sobald die Streckung des Internodiums vollendet ist und die Verdickung der Sklerenchymfasern begonnen hat, verschwindet die Stärke aus der Stärkeschicht; diese Stärke wird somit vor beginnender Anlage des Interfascicularcambiums verbraucht. Aufwärts lässt sich diese Stärke bis an die Stellen verfolgen, in welchen die Ausbildung der Vasalprimanen beginnt, sie zeigt sich meist in den vor den Markstrahlen gelegenen Partien. — Die Rinde besteht aus chlorophyllreichem, parenchymatischem Gewebe und, vor den stärkeren Bündeln, die in ihrer Stellung den Kanten des Stengels entsprechen, aus Collenchym. Letzteres schliesst direct an den Sklerenchymfaserbeleg der betreffenden Gefässbündel an.

Durch das secundäre Dickenwachsthum, das mit vollendetem Längenwachsthum sich einstellt, werden nach der Holzseite zu behöft getüpfelte Gefässe, ebenso getüpfelte und mit feinen Schraubenbändern versehene Tracheïden, Uebergangsformen zwischen den beiden, ausserdem Holzfasern und Holzparenchym gebildet. Die Holzfasern sind wenig gestreckt, durch Mittelformen mit dem Holzparenchym verbunden, behalten ihren lebendigen Inhalt und sind sammt dem Holzparenchym zwischen und um die tracheïdalen und trachealen Elemente vertheilt. An den Flanken jedes Holzstranges bildet das Cambium nur Sklerenchymfasern, die etwas stärker gestreckt und stärker verdickt als die meisten Holzfasern des Holzstranges, sonst übereinstimmend mit jenen gebaut und auch mit lebendigem Inhalt versehen sind. Ihrer Lage nach, sowie auf Grund vergleichend-morphologischer Erwägung, gehören diese die Holzstränge seitlich umscheidenden Sklerenchymfasern dem Grundgewebe an, ohne dass aber eine scharfe Grenze zwischen dem Antheil der Holzstränge und der Markstrahlen an diesen Elementen sich ziehen liesse. Im Herbst zeigen sich die Holz-

fasern, das Holzparenchym und die anschliessenden Sklerenchymfasern mit Stärke erfüllt. Zwischen den Sklerenchymfaserplatten setzen sich die primären Markstrahlen in dünnwandige Elemente fort, erfahren dann nach aussen vielfach eine Erweiterung. In dieses dünnwandige Markstrahlgewebe werden nur ausnahmsweise stärkere oder schwächere Stränge aus Sklerenchymfasern eingeschaltet. Secundäre Markstrahlen treten erst in späteren Jahren und zwar sehr spärlich auf, erlangen, einmal angelegt, bald auch bedeutende Breite. Clematis wurde schon unter denjenigen Pflanzen angeführt, deren Markstrahlen gerade abwärts in dem Stamme fortlaufen [1]). Die Gefässbündelstränge von Clematis anastomosiren aber so reichlich innerhalb der Knoten, dass ihre seitliche Trennung dadurch aufgehoben wird und die Markstrahlen nicht über die Länge der Knoten hinausgehen. Daher auch bei Clematis seitliche, die Markstrahlen durchsetzende Gefässbündelbrücken innerhalb der Internodien entbehrt werden könnten, übrigens nicht vollständig fehlen [2]). — Wie schon erwähnt wurde, erfährt das peripherische Gewebe des Markes und die Ansatzstellen der Markstrahlen hier eine starke Verdickung. An diese verdickten Elemente setzen die Sklerenchymplatten an, welche die einzelnen Holzstränge umrahmen. Die dünnwandigen Elemente der Markstrahlen sind im Herbst mit Stärke gefüllt; sie dienen deren Leitung und Speicherung; jede Vorstellung, dass die Markstrahlen in die Functionen der wasserleitenden Elemente eingreifen könnten, ist hier aber von vornherein ausgeschlossen, da die Sklerenchymfaserplatten sie von den Wasserbahnen trennen.

Der secundäre Zuwachs nach der Rindenseite liefert zunächst nur Siebröhren und Geleitzellen in regelmässiger Abwechslung innerhalb der Siebtheile, gestreckte Elemente an den Flanken der Siebtheile. Diese letzteren Elemente verdicken sich und verholzen alsbald stark, von derjenigen Schicht abgesehen, die dem Siebtheil direct anliegt. Sie gleichen, soweit verdickt und verholzt, den Sklerenchymplatten an den Flanken der Holzstränge, sind auch ebenso getüpfelt wie jene, treffen aber mit nur wenig geneigten Wänden auf einander. Nachdem die Bildung der Siebröhren

---

1) Fr. Müller, Bot. Ztg. 1866, p. 58.

2) Sind auch schon Sanio aufgefallen. Vergl. Unters. über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg. 1863, p. 127.

und Geleitzellen im Baststrange eine Zeit lang anhält, schaltet das Cambium in dieselben ein queres Band parenchymatischer Elemente ein. Dieses erfolgt bereits in der ersten Vegetationsperiode in den unteren Internodien diesjähriger Triebe, etwa schon im Juni. Diese parenchymatischen Elemente werden späterhin sklerenchymatisch verdickt und bilden einen Bogen, der sich in die verdickten Elemente der Flanken fortsetzt. In gleicher Weise wiederholen sich auch weiterhin die Vorgänge. Die Intervalle zwischen den eingeschalteten Sklerenchymbändern können aber sehr ungleich sein. Für gewöhnlich wird von den eingeschalteten Parenchymbändern nur eine innere und eine äussere Zone verdickt, während eine zwischenliegende unverdickt bleibt; oder es ergreift die Verdickung nur eine äussere Zone. Häufig bleibt ein medianer Theil des Bandes von der Verdickung ausgeschlossen, endlich kommt es auch vor, dass der ganze Streifen nicht verdickt wird. Letztere Erscheinung ist vornehmlich bei rascher Aufeinanderfolge der Parenchymbänder zu beobachten. — Bald nachdem die Verholzung des ersten eingeschalteten Parenchymbandes begonnen hat, wird die ausserhalb desselben gelegene Partie des Siebtheils ausser Function gesetzt. Ist jene Partie allseitig von Sklerenchym umgeben, so wird sie nur entleert, nicht zerdrückt; letzteres erfolgt hingegen, in grösserem oder geringerem Maasse, bei unvollständiger Umrahmung. Nachdem die genannten Vorgänge eingeleitet sind, wohl auch noch vor Beginn derselben, fängt die Bildung eines Phellogenringes an. Derselbe wird vor den Gefässbündeln innerhalb des dünnwandigen Gewebes, welches den primären Siebtheil von seinem Sklerenchymbelege trennte, vor den Markstrahlen wohl in der äussersten Zellschicht des Pericykels, derjenigen welche zwischen der Stärkescheide und dem Interfascicularcambium lag, angelegt. Das Phellogen bildet Kork nach aussen, etwas Phelloderm nach innen, und veranlasst so, dass die ganze Rinde und die primären Sklerenchymbelege der Bündel absterben und als streifige Borke weiterhin abblättern. An älteren Stammtheilen wiederholt sich die Peridermbildung in tieferen Lagen, wobei die Parenchymstreifen innerhalb der Siebtheile und das secundäre Markstrahlgewebe zur Anlage des Phellogenringes Verwendung finden [1]).

---

1) In einem Aufsatze über die Structur der Ranunculaceen

Für die Leitung der Kohlehydrate im secundären Siebtheil sorgt hier das seitlich an diesen Siebtheil grenzende und das ihn in Bändern durchsetzende Parenchym, das auch hier als Bastparenchym zu bezeichnen ist. Die Hauptmasse der Kohlehydrate mag sich aber in dem gerade abwärts laufenden, dünnwandigen Theile der Markstrahlen bewegen.

Die regelmässige Abwechslung der Siebröhren und Geleitzellen in den primären Siebtheilen von Clematis giebt auch diesen Siebtheilen, sowie denjenigen von Ranunculus, ein ganz monocotyles Aussehen. Dieses Aussehen besitzen auch die zwischen je zwei Parenchymbändern eingeschalteten, aus Siebröhren und Geleitzellen bestehenden Partieen des secundären Zuwachses. Als den Monocotylen entsprechende, mit der mangelnden Einschaltung von Bastparenchym und auch von Markstrahlen in den Siebröhrenapparat zusammenhängende Einrichtung kehrt hier auch das Aufeinandertreffen der Geleitzellreihen übereinander liegender Siebröhrenglieder wieder. Bei anderen Dicotylen ist mir ein solches Verhalten nicht wieder entgegengetreten, wie denn auch die den Ranunculaceen verwandten Magnoliaceen Cribralparenchym zwischen den Siebröhren und Geleitzellen im primären Siebtheil aufzuweisen haben. Nicht anders wie die Magnoliaceen verhalten sich auch die Nymphaeaceen. In den genannten beiden Familien treffen demgemäss auch die Geleitzellreihen der aufeinander folgenden Siebröhrenglieder nicht zusammen. Bei Einrichtungen, wie sie die Ranunculaceen bieten, müssen die Geleitzellen für Leitung auf längere Strecken eingerichtet sein. In ihren sonstigen Functionen sowie derjenigen der Siebröhren dürfte dadurch nichts verändert werden. Denn der Inhalt der Geleitzellen ist bei den Ranunculaceen der nämliche wie in Fällen, wo Bastparenchym zwischen die Siebröhren eingeschaltet ist. Die Fähigkeit der Siebröhren Stärke in ihren Leucoplasten zu erzeugen, eine Fähigkeit welche den Ra-

---

(Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XX, p. 5) behandelt P. Marié auch die Gattung Clematis (p. 13). Ein Theil der hier besprochenen Verhältnisse finden sich somit schon von P. Marié erörtert. Von Clematis flammula giebt Marié an (p. 20), dieselbe bilde kein Sklerenchym im Siebtheil, so dass ich fast annehmen muss, Stammtheile einer anderen Species mögen ihm zur Untersuchung vorgelegen haben.

nunculaceen in so hohem Maasse zukommt, wird ebenfalls nicht durch das Vorhandensein oder das Fehlen von Bastparenchym beeinflusst, denn die Magnoliaceen und Nymphaeaceen haben ebenso stärkereiche Siebröhren aufzuweisen.

Es wäre noch von Bedeutung, einige solche krautartige Pflanzen in Betracht zu ziehen, welche durch besondere Eigenthümlichkeiten ihres Baues ausgezeichnet sind.

Es wird für Crassulaceen angegeben, dass denselben die Markstrahlen fehlen. Dass die Markstrahlen, auch wo vorhanden, nicht immer in Beziehung zu den wasserleitenden Bahnen zu stehen brauchen, haben wir an verschiedenen Beispielen, zuletzt bei Clematis, gesehen. Bei Crassulaceen müssten aber auch die ganzen sonstigen Leistungen der Markstrahlen, wie Zufuhr der Kohlehydrate aus der Rinde und Durchlüftung des Holzkörpers, von anderen Geweben übernommen werden.

Untersuchen wir die unteren Theile eines Stammes von Sedum maximum, so treten uns, um das weite parenchymatische Mark, zunächst die primären Gefässtheile entgegen und an diese anschliessend ein geschlossener Holzkörper, in welchem Inseln aus Gefässen und Parenchymzellen vertheilt sind[1]). In den primären Gefässtheilen haben wir die gewohnten Verhältnisse: zunächst gefässartige, enge, gestreckte Tracheïden, dann an Weite zunehmende Gefässe, die wie die Tracheïden in dünnwandiges Vasalparenchym eingebettet sind. Die Verdickung der Gefässe geht aus der ring- und schraubenförmigen allmählich in eine netzförmige über. Die Anordnung der Elemente, die zunächst eine unregelmässige ist, wird alsbald eine regelmässig radiale. Die radialen Reihen setzen sich in diejenigen des geschlossenen Holzkörpers fort. Die Verholzung der Elemente innerhalb dieser Reihen beginnt annähernd gleichzeitig, so dass der Holzring ziemlich scharf gegen die unverholzten Gewebe absetzt. Die verholzten Elemente zeigen vier- bis sechseckigen Querschnitt und sind äusserst regelmässig angeordnet, so dass der Querschnitt des Holzkörpers einen ganz ähnlichen Eindruck macht wie bei Coniferen, doch mit dem Unterschiede, dass

1) Vergl. hierzu die Abbildungen von L. Koch in Unters. über d. Entw. d. Crassulaceen, 1879, etwa Fig. 4, Taf. XI.

markstrahlähnliche Bildungen fehlen. Die den Holzkörper aufbauenden Elemente sind lebende Holzfasern mit tangentialer Zuschärfung an den Enden. Sie besitzen eine relativ geringe Länge, einfache, wenig geneigte und auch wenig gestreckte Tüpfel, gehören in einem Worte derjenigen Kategorie der lebenden Holzfasern an, die sich dem Holzparenchym nähert. An der inneren Grenze des Holzkörpers gehen diese Holzfasern durch einige, noch verholzte Mittelformen, mit quer gestellten Terminalwänden, in das dünnwandige Vasalparenchym über. Die Zahl der Tüpfel an den tangentialen Wänden der Holzfasern ist wesentlich grösser als an den radialen, so dass die Stoffleitung in dieser Richtung vornehmlich erfolgen muss. Die Holzfasern erscheinen sehr inhaltsarm, doch ist ein dünner Wandbeleg und ein Zellkern in ihnen stets nachzuweisen. Die kleineren oder grösseren Inseln aus Gefässen und Holzparenchym, welche tangential mehr oder weniger gestreckte Bänder zwischen den Holzfasern bilden, setzen durch ihre Elemente die Reihen der Holzfasern in radialer Richtung mit grösserer oder geringerer Regelmässigkeit fort. Die Regelmässigkeit wird vornehmlich durch Erweiterung einzelner Gefässe über die Breite der Zellreihe und eventuell durch radiale Theilung der parenchymatischen Elemente gestört. Die Gefässe sind netzförmig verdickt, die Maschen erscheinen als grosse eiförmige Poren, ähnlich wie schon an den letzten Gefässen des primären Gefässtheils. Die Glieder dieser Gefässe entsprechen in Länge und Gestalt den Holzfasern. Das Holzparenchym ist dünnwandig, durchaus wie das Vasalparenchym des primären Gefässtheiles entwickelt, inhaltsreicher als die Holzfasern, und meist kürzer als dieselben, weil vorwiegend durch einmalige Quertheilung der Cambiumzelle erzeugt. Wie die Längsschnitte lehren, bilden diese gefässhaltigen Bänder ein zusammenhängendes System, welches in seitlich schräger Richtung zahlreiche Anastomosen aufweist. — Die radialen Reihen des Holzkörpers setzen sich durch das Cambium in die Bastzone fort und bestehen dort aus unverholztem Parenchym, das von Strängen aus Siebröhren sammt Geleitzellen durchzogen wird. Diese Stränge anastomosiren in seitlich schräger Richtung mit einander. Ihre Elemente sind meist englumiger als diejenigen des angrenzenden Parenchyms, und der ganze Strang nimmt nur die Breite einer bis einiger Parenchymzellreihen ein. Aehnliche

schmale Stränge, die ausser Siebröhren und Geleitzellen auch Cribralparenchym führen, bilden die ausserhalb des secundären Zuwachses gelegenen primären Siebtheile. Dieselben lehnen sich an weite, gerbstoffreiche Schläuche an, die in einem unterbrochenen Ringe den Centralcylinder abschliessen. Erst jenseits desselben liegt die sehr unvollkommen abgesetzte, nur an jüngeren, noch in Streckung begriffenen Stammtheilen deutlich unterscheidbare Stärkescheide. Die gerbstoffreichen Elemente finden sich auch in geringerer Anzahl an den primären Gefässtheilen vor, bestehen dort aber aus nur relativ kurzen Gliedern.

Wie aus der Schilderung des Stammbaues von Sedum maximum hervorgeht, finden sich Einrichtungen bei dieser Pflanze vor, die eine Anknüpfung an die gewohnten Verhältnisse im Stammbau der Dicotylen ohne weiteres gestatten: Gefässe, die von Parenchym umgeben sind, zu welchen plastische Stoffe durch andere lebendige Elemente zugeführt werden können. Ebenso lässt sich besonders an Längsschnitten feststellen, dass feine, mit Luft erfüllte Intercellularen von der Rinde bis zum Mark den Enden der Holzfasern folgen, und dass durch Vermittlung dieser radialen Intercellularen Luft auch den die Gefässstränge begleitenden Holzparenchymzellen zugeführt werden kann. Die Rolle der Markstrahlen, soweit sie in der radialen Zuführung von Reservestoffen und von Luft zu den die Gefässe umgebenden lebendigen Elementen besteht, wird hier somit durch das aus Holzfasern bestehende Gewebe besorgt.

In den rasenbildenden Arten, welche L. Koch untersucht hat [1]), wie Sedum spurium, album, rupestre, besteht, wie ich für Sedum spurium bestätigen kann, der geschlossene secundäre Holzkörper, den nur die fertilen Zweige erhalten, aus Holzfasern allein, während Gefässe in demselben fehlen. Die Gefässe des primären Gefässtheils reichen hier vollständig aus, um bei den geringen Anforderungen, während der ganzen Entwicklung des Sprosses, die Wasserzufuhr zu besorgen, während den nachgebildeten Holzfasern vor allem nur mechanische Functionen zufallen.

Umgekehrt haben bei Sedum populifolium [2]) die nachgebildeten Holzmassen alsbald die Aufgabe, die ganze Wasser-

---

1) l. c. Vergl. die Figuren Taf. II, 3, 4; Taf. IX, Fig. 4.
2) Vergl. L. Koch, l. c. p. 64 und Taf. XII.

leitung zu übernehmen, und werden demgemäss mit Gefässen entsprechend versorgt. Ueberhaupt ist das Verhalten von Sedum populifolium ein ganz eigenes. Auf die primären gefässreichen Vasaltheile folgt, und zwar hier in sämmtlichen Sprossen der strauchartig verzweigten, doch nur wenig über den Boden sich erhebenden Pflanze, ein geschlossener Holzring aus Holzfasern, wie wir ihn in den vorhergehenden Arten schon kennen lernten. Gefässe werden in diesem Ringe nur äusserst spärlich erzeugt. Hierauf, und zwar für gewöhnlich erst in der nächsten Vegetationsperiode, beginnt der Cambiumring dünnwandige Elemente nach der Holzseite zu bilden und schaltet zwischen diese alsbald Gefässe ein. Die Stellen, welche Gefässe führen, liegen in denselben Radien wie die primären Gefässtheile. Weiterhin werden wieder Holzfasern, denjenigen im ersten Holzring entsprechend, doch meist mit reichlicherer Gefässeinschaltung, erzeugt. Die Gefässe sind in dünnwandiges Holzparenchym eingebettet und bilden im Querschnitt zerstreute Gruppen. Das dünnwandige Gewebe, das auf den ersten Holzring zunächst folgte, füllt sich dicht mit Inhalt an, und erlangt ein markähnliches Aussehen. Seine innerste Schicht verwandelt sich hierauf in ein Korkcambium und schliesst so, eigenthümlicher Weise, den inneren Holzring sammt den primären Gefässtheilen und dem Marke, von den äusseren Theilen ab. Diese inneren Theile sterben alsbald ab; die neu hinzuerzeugten, in ihrem Verhalten den erst gebildeten durchaus gleichend, sind in deren Function getreten. Mit grösserer oder geringerer Regelmässigkeit bringt nun jede Vegetationsperiode einen neuen Holzring, der mit dünnwandigen Elementen und Gefässen beginnt, hervor. Doch werden die auf den zweiten folgenden Holzringe meist unvollständig, wodurch das Bild des Querschnittes die ursprüngliche Regelmässigkeit einbüsst [1]). In Folge der sich in der zuvor geschilderten Art wiederholenden Korkbildungen werden die inneren Theile stetig ausgeschaltet und können nur noch mechanischen Zwecken dienen. Sie erhalten eine bräunliche Färbung. — Zu diesen Angaben, welche mit den L. Koch'schen übereinstimmen, müssen noch einige weitere hinzugefügt werden. Auf entsprechenden Längsschnitten stellt man nämlich fest, dass die Holzringe nach dem Sprossscheitel zu sich auskeilen.

---

1) Vergl. bei Koch, l. c. Taf. XII, p. 5.

Dabei setzen sich die Gefässe der Innenseite des nächst äusseren Holzringes in der Richtung derjenigen des nächst inneren fort. So erschöpft sich zunächst der erste, innerste Holzring nach oben, und der zweite tritt mitsammt seinen Gefässen an dessen Stelle. Dies erfolgt an Orten, die einem erneuerten Scheitelwachsthum entsprechen, so dass die neu am Sprosse angelegten Gefässtheile sich nach abwärts in die zu gleicher Zeit hinzugebildeten Zuwachszonen fortsetzen. Es entspricht das ja auch dem Wesen nach den Verhältnissen, wie sie bei anderen, mit typischem Dickenzuwachs versehenen Dicotylen gegeben sind, nur dass hier ausserdem in der Trennung der Zuwachsringe und in der Ausschaltung der inneren Ringe vermittels Korkbildung eine Einrichtung sui generis vorliegt. — Verfolgt man die Trennungslinie zweier aufeinander folgender Holzringe nach oben, so sieht man, dass in dem Maasse, als sich der innere Holzring auskeilt, die Gefässe des äusseren sich seiner Oberfläche nähern, so dass sie schliesslich unmittelbar, ohne Einschaltung von dünnwandigen Geweben, an dieselbe grenzen. Dem entsprechend wird das Aussehen der Querschnitte in verschiedener Höhe modificirt. Abgesehen von den Korkschichten, welche der Aussengrenze der Holzringe folgen, werden auch wohl solche stellenweise zwischen einer Gefässzone und dem Holzringe, dem sie angehört, eingeschaltet. — Während alle diese Vorgänge sich an der Innenseite des Cambiumringes abspielen, fährt derselbe fort, an seiner Aussenseite radiale Reihen parenchymatischer Elemente und in diese eingeschaltete Stränge von Siebröhren und Geleitzellen zu bilden. Der Zuwachs nach jener Seite ist weit schwächer; die ältesten Siebröhrenstränge werden allmählich ausser Function gesetzt, flachgedrückt und tangential gedehnt. Die grüne Rinde folgt durch radiale Theilung der Dickenzunahme des Stammes; die Oberfläche wird von einer Peridermschicht eingenommen. — So lange lebendig, das heisst nicht durch Korkbildung ausgeschaltet, vermitteln die Holzfasern auch hier, ganz wie bei Sedum maximum, den Stoffaustausch im Holzringe; sie haben ausserdem mechanische Functionen zu vollziehen, während gleichzeitig die radialen Intercellularen zwischen ihnen den nöthigen Gasaustausch ermöglichen.

Bei der halbstrauchartigen Campanula Vidalii, so giebt de Bary an, stehen die Gefässe sehr einzeln, und ohne Parenchym oder Ersatzfaserbegleitung, in den Radialreihen der Faserzellen eingestreut [1]). Für lebende Elemente an den Gefässen von Campanula Vidalii ist aber thatsächlich durch lebendige Holzfasern gesorgt; Holzparenchym fehlt hingegen. Die Gefässe sind relativ englumig, die Breite der angrenzenden lebendigen Holzfasern nicht wesentlich überschreitend. Der Querschnitt lässt im Holzkörper kaum Markstrahlen unterscheiden; auf tangentialen Längsschnitten setzen dieselben immerhin, wenn auch wenig scharf, gegen die Holzfasern ab. Ihre Elemente sind kürzer, polygonal, die Tüpfel etwas grösser. Die Gefässe bilden zusammenhängende Reihen; ihre geneigten Terminalwände sind meist mit einem einzigen Loch durchbohrt. Diese Gefässe ausgenommen, besteht der ganze Holzkörper aus lebenden, wenn auch nicht eben inhaltsreichen Elementen. Die Holzfasern, welche die Gefässe umgeben, sind von den anderen nicht verschieden, übrigens wie jene, nur von geringer Länge.

Im Stengel von Gypsophila dichotoma [2]) sind die Gefässe wesentlich weiter, ihre Umkleidung besteht aber auch ausschliesslich nur aus lebenden Holzfasern. Wie bei Campanula Vidalii haben letztere unbedeutende Länge. Markstrahlen sind in den inneren Theilen des Holzringes nicht zu unterscheiden, in den äusseren Theilen bilden sie sich stellenweise mehr oder weniger deutlich aus, und weisen kürzere, radial gestreckte, oft unregelmässig gestaltete Elemente auf. Wie bei Campanula Vidalii sind die Elemente des Holzkörpers auch hier sehr inhaltsarm. Die Gefässe grenzen vielfach in längeren radialen Reihen unmittelbar an einander und sind an den Contactflächen mit zahlreichen, doppelt behöften Tüpfeln versehen, nicht minder zahlreiche, einseitig behöfte Tüpfel führen nach den Holzfasern hin.

So ungewohnt in mancher Beziehung die Structurverhältnisse waren, die uns in den letzt untersuchten Pflanzen entgegengetreten sind, so boten sie doch keine solche Einrichtung

---

1) Vergl. Anat., p. 514.

2) Ueber das Verhalten der Caryophylleen vergl. de Bary, Vergl. Anat., p. 514, dort auch die Litteratur.

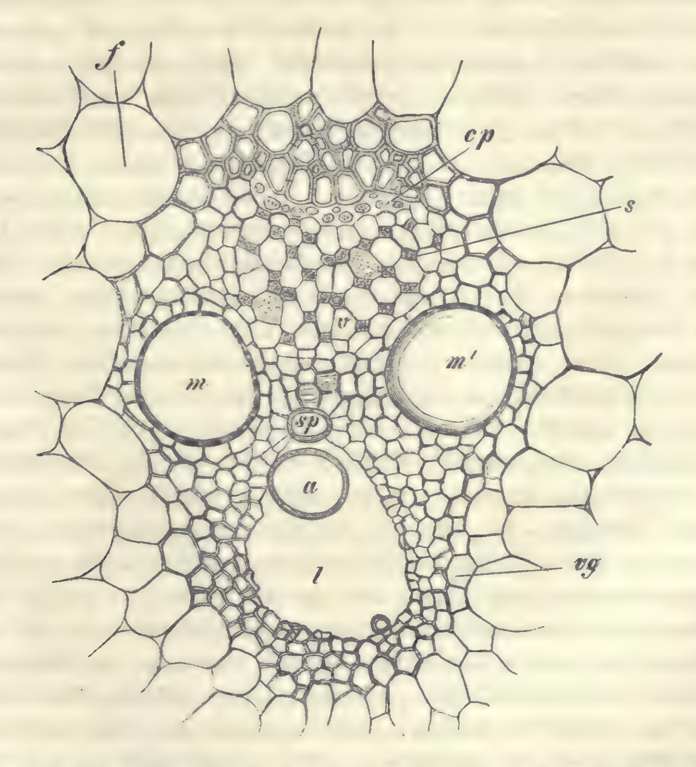
dar, die in Widerspruch gestellt werden könnte zu den Vorstellungen, die wir uns über die Function der einzelnen Bestandtheile des Gefässbündels gebildet hatten. Die gewohnte Continuität der Wasserbahnen, die gleiche Beziehung derselben zu den lebenden Elementen, traten uns hier entgegen, wenn auch Bau und Vertheilung dieser Organe in mancher Beziehung modificirt erschien. Als theoretisch von Belang wäre der scheinbar nur ganz secundäre Punkt hervorzuheben, dass den Sedum-Arten echte, mit einem Torus auf der Schliesshaut versehene, behöfte Tüpfel an den wasserleitenden Elementen abgehen. Ich fand dort nur schrauben- und netzförmig verdickte Gefässe vor, die zwischen den verdickten Stellen, auch gegen einander, nur durch einfache Membranen getrennt erscheinen. Dass aber die Ausbildung von Hoftüpfeln selbst bei den niedrigsten krautartigen Gewächsen keinesfalls ausgeschlossen ist, das zeigt sofort der Fall von Ranunculus repens, der echte Tüpfelgefässe besitzt, welche durch zweiseitig behöfte, mit verdicktem Torus auf der Schliesshaut versehene Tüpfel unter einander communiciren.

Monocotyledonen.

Der Uebergang von dem Gefässbündelbau der Ranunculaceen zu demjenigen der Monocotylen ist ein vermittelter, und es treten uns überhaupt in den Gefässbündeln der Monocotylen keine Einrichtungen entgegen, für die wir nicht bereits Anknüpfungspunkte bei den zuvor studirten Gewächsen würden finden können. Gewisse Unterschiede werden aber dadurch bedingt sein, dass in die primären Gefässbündeltheile der nicht auf secundäres Dickenwachsthum eingerichteten Gefässbündel der Monocotylen öfters Elemente Aufnahme finden werden, die wir bei Dicotylen erst im secundären Zuwachs der Gefässbündel anzutreffen gewohnt sind.

Ueber den Bau eines typischen monocotylen Gefässbündels, über die Verbindung solcher Gefässbündel zu einem einheitlichen System, über die Veränderungen, welche die einzelnen Gefässbündel auf ihrem Wege erfahren, werden wir uns zunächst bei der oft schon studirten Zea Mays zu unterrichten suchen. Ich habe diesem Object eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet und alle Einzelheiten des Baues eingehend studirt, da ja keine dieser Einzelheiten bedeutungslos für die Leistungen des ganzen Systems ist. Manche Wiederholungen von Bekanntem mögen dabei entschuldigt werden.

Wir wollen zunächst ein Gefässbündel aus dem Innern des Centralcylinders eines ausgewachsenen Internodiums ins Auge fassen. Zur leichteren Orientirung diene der Holzschnitt aus



Querschnitt durch ein Gefässbündel aus den inneren Theilen eines Stengel-Internodiums von Zea Mays. *a* Glied eines Ringgefässes, *sp* Schraubengefäss, *m* und *m'* behöft getüpfelte Gefässe, *v* Siebröhre, *s* Geleitzelle, *cp* zerquetschte Cribralprimanen, *l* Intercellulargang, *vg* Scheide. Vergr. 180.

meinem „Botanischen Practicum“[1]). Im Gefässtheil dieses Bündels fällt zunächst der Intercellulargang ins Auge, der mit seiner inneren Seite an die Gefässbündelscheide grenzt, sonst fast vollständig von dünnwandigem, schwach verholztem Vasalparenchym umgeben ist. In diesen Intercellulargang ragen, vornehmlich vom äusseren Rande aus, isolirte Ringe, eventuell gedehnte Schraubenbänder zerstörter Vasalprimanen hinein. Dann folgt in den meisten Fällen nur eine ring- oder schraubenförmig verdickte Gefässtracheïde. Die Länge der an dieser Stelle befindlichen Gefässtracheïden ist eine so bedeutende, dass es schwer wird, auf Längsschnitten deren Enden aufzufinden. Es hängt das damit zusammen, dass diese Gefässtracheïden, im Anschluss an die Primanen, während der Streckung des Internodiums bereits angelegt werden. An diese gefässartigen Tracheïden schliessen in der Mediane des Bündels entweder nur verholzte, vasalparenchymatische, oder, mit diesen untermischt, ebenso verholzte, enge, tracheïdale oder tracheale Elemente an. Auch wo tracheïdal entwickelt, sehen die Elemente wie kurze Gefässglieder aus, und die meisten lassen sich auch in der That als solche erkennen, da sie durch offene Löcher mit einander communiciren. Im Querschnitt fallen diese Elemente zunächst nur wenig in die Augen, da sie dieselbe Weite und denselben Umriss wie die Vasalparenchymzellen zeigen; an Längsschnitten erkennt man ihre Züge leicht an der netzförmigen oder netzförmig getüpfelten Verdickung ihrer Wände. In Gefässbündeln, die der Querschnitt im obersten Theile ihres Verlaufs getroffen hat, ist der mittlere Theil nur von Vasalparenchym eingenommen; je tiefer das betreffende Gefässbündel durchschnitten wurde, um so mehr tracheale oder tracheïdale Elemente sind zwischen die Vasalparenchymzellen eingeschaltet. Diese Elemente schliessen stellenweise an die mediane Gefässtracheïde, vorwiegend aber an die beiden grossen, für die Gramineen-Gefässbündel so charakteristischen seitlichen Gefässe an. In den unteren Theilen des Bündels stehen sie mit letzteren fast in ununterbrochenem Contact. Die Wände der beiden grossen, seitlichen Gefässe sind für gewöhnlich quer gestreckt getüpfelt, seltener netzförmig oder schraubenförmig verdickt. Die Glieder dieser Gefässe sind von mässiger Länge und durch

1) II. Aufl., 1887, p. 110.

runde Löcher innerhalb der genau quer gestellten Scheidewände verbunden. In dem oberen Theile des Verlaufs grenzen diese Gefässe nur an Vasalparenchym und an Scheidenelemente. Falls sie, wie dies meist der Fall, mit ihrer einen Seite Scheidenelemente berühren, sind sie dort ungetüpfelt. Nach den Vasalparenchymzellen zu führen sie dicht gedrängte Tüpfel. Diese Vasalparenchymzellen haben die Gestalt echter Gefässbelegzellen und sind dementsprechend stark abgeflacht; sie zeigen sich netzförmig verdickt. Wo eins der inneren Gefässglieder oder eine Tracheïde an die seitlichen Gefässe anschliesst, besitzt die Wand doppelt behöfte Tüpfelung.

Der Siebtheil wird von Siebröhren und Geleitzellen in regelmässiger Abwechslung gebildet, zeigt somit den für Monocotylen typischen Bau, den wir übrigens auch für Ranunculaceen constatiren konnten. Die Geleitzellen sind nicht allein an ihrem geringeren Durchmesser, sondern auch an ihrem reichhaltigeren Inhalt leicht zu erkennen. Am Aussenrande des Siebtheils liegen die gequollenen Cribralprimanen. Vom Gefässtheil wird der Siebtheil durch unverholzte Vasalparenchymzellen getrennt; es sind diejenigen Vasalparenchymzellen, welche zuletzt aus dem cambialen Zustande heraustraten. Nur ausnahmsweise grenzt eine Zelle des Siebtheils direct an die verholzten Belegzellen der grossen Gefässe. Für gewöhnlich trennen zwei, manchmal sogar drei Lagen von Vasalparenchym den Siebtheil von den Gefässen. Auch von den verholzten Elementen der Scheide wird der Siebtheil durch unverholzte Elemente seitlich getrennt. Nur die Cribralprimanen grenzen direct an die verholzten Scheidenzellen. Mit Chlorzinkjodlösung behandelte Querschnitte zeigen den Siebtheil demgemäss von einer Zellschicht seitlich eingefasst, die sich zum Mindesten in den dem Siebtheil zugekehrten Wandtheilen schmutzig-violett wie der Siebtheil selbst färben lässt. Bei Behandlung mit einer wässerigen Lösung von schwefelsaurem Anilin und verdünnter Schwefelsäure bleiben die nämlichen Zellen, sowie der Siebtheil, farblos. Schon bei Gelegenheit von Ranunculus wurde auf jene, die Flanken des Siebtheils von den sklerenchymatischen Elementen der Scheide trennende Zellschicht hingewiesen und der Angaben von Westermaier[1])

1) Neue Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Bedeutung des Gerbstoffes in den Pflanzengeweben, Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1887, p. 136.

über dieselbe dabei gedacht. Diese Zellschicht wird angetroffen, wo der Siebtheil kein Cribralparenchym führt. Sie gehört als solche schon dem Grundgewebe an und umhüllt den Siebtheil mit Zellen, die durch Vermittlung der Durchlassstellen die Verbindung des Siebtheils, mit den ausserhalb der Gefässbündeltracheïden befindlichen Elementen des Grundgewebes unterhalten. Die verdickten Elemente der Gefässbündelscheide zeichnen sich, soweit sie an die Cribralprimanen direct anstossen, durch grössere Weite und schwächere Verdickung aus. Dieses Verhalten fällt an Gefässbündeln, welche die Mitte des Stengels einnehmen, noch mehr auf, als an den in unserem Holzschnitt dargestellten. In dem Maasse, als in den Gefässbündeln, nach der Peripherie des Stengels zu, die Zahl der Cribralprimanen abnimmt, sinkt auch die Zahl der mit denselben verbundenen Scheidenelemente, und schliesslich greifen auch wohl die seitlichen Parenchymzellen vor dem Siebtheil zusammen.

Aus dem Bau des Siebtheils folgt unmittelbar, dass nur die peripherisch gelegenen Geleitzellen desselben mit dem angrenzenden Parenchym communiciren können. Die Geleitzellen laufen in geraden Reihen abwärts und hängen seitlich nicht mit einander zusammen. In seinem Abwärtsverlauf verjüngt sich aber der Siebtheil allmählich; seine peripherischen Siebröhren und Geleitzellen schwinden nach einander, und kommen die zuvor inneren Geleitzellen so der Reihe nach in eine peripherische Lage und in Berührung mit dem angrenzenden Parenchym, so dass sie an dieses, so wie es bei Dicotylen geschieht, den Inhalt der Siebröhren übermitteln können.

Die Gefässbündelscheide wird an der Innen- und Aussenseite des Gefässbündels von sklerenchymfaserähnlichen Elementen gebildet. Diese Elemente zeichnen sich, wie schon erwähnt wurde, im Anschluss an die Cribralprimanen durch etwas grössere Weite aus und springen hier auch, um mit diesen Elementen in Contact zu kommen, in das Gefässbündel etwas ein. An den Flanken des Gefässbündels gehen die Scheidenelemente in dem Maasse, als sie sich den Durchlassstellen nähern, in gestreckt parenchymatische Zellformen über. Die sklerenchymatischen Formen zeigen stark geneigte Terminalwände, spaltenförmige, schräg aufsteigende Tüpfel; in den parenchymatischen Formen werden die Querwände horizontal, die Tüpfel

runden sich ab und verlieren die schräge Lage. Gestreckt parenchymatisch, doch relativ kurz sind die nicht verholzten oder halb verholzten Parenchymzellen, welche die Flanken des Siebtheils einnehmen. Soweit die Elemente der Scheide direct an die Wände der grossen Gefässe stossen, sind sie nach diesen zu ganz ungetüpfelt oder mit nur ganz spärlichen, punktförmigen Tüpfeln versehen. Auch diese Elemente der Scheide sind wenig lang und haben nur schwach geneigte Endflächen. Es fehlt nicht an Uebergängen zwischen denselben und dem Vasalparenchym. Diese Uebergänge werden noch zahlreicher in der Nähe des den inneren Gefässtheil einnehmenden Intercellularganges. An den Durchlassstellen haben wir es ebenfalls mit gestreckt parenchymatischen Scheidenelementen zu thun. Die Querwände dieser Elemente fallen nach Kalibehandlung durch ihre Quellung und starke Lichtbrechung auf. Alle Elemente der Scheide bleiben lebendig, führen einen Zellkern und einen protoplasmatischen Wandbeleg, welch letzterer freilich in denjenigen Formen, welche den sklerenchymatischen Charakter am ausgeprägtesten zeigen, sehr reducirt ist. Sämmtliche Zellen der Gefässbündelscheide grenzen ohne Intercellularen an einander, so dass sie das Gefässbündel luftdicht gegen das umgebende Gewebe abschliessen. Sie bilden somit eine physiologische, das Gefässbündel abschliessende und dasselbe mechanisch schützende Gefässbündelscheide. Der Schwefelsäurebehandlung widersteht diese Scheide, weil verholzt. Eine besondere Endodermis zeichnet sich weder um diese Gefässbündelscheide noch innerhalb derselben aus.

In dem Maasse, als man sich der Peripherie des Stengels nähert, sieht man den Gefässbündelquerschnitt kleiner werden. Der Intercellulargang schwindet in diesen Gefässbündeln; die mediane Reihe der Vasalprimanen bleibt erhalten; die Zahl der Cribralprimanen nimmt ab. In den kleinsten, äussersten Gefässbündeln fehlen die Vasal- und Cribralprimanen, die beiden seitlichen Gefässe werden durch zwischenliegende zusammenhängend verbunden. Oefters sieht man in so reducirten Gefässbündeln einzelne Elemente des Siebtheils direct an den vasalparenchymatischen Beleg der Gefässe, doch nicht an die Gefässe selbst stossen. Die Grössenabnahme, welche die beiden seitlichen Gefässe erfahren, ist nicht so bedeutend wie die schliessliche Reduction des Siebtheils. Der Durchmesser der ersteren

sinkt etwa auf die Hälfte, des letzteren unter ein Drittel hinab. Der Siebtheil erscheint zugleich in den Gefässtheil eingesenkt. Während die Gefässbündel selbst diese Reduction erfahren, gewinnt ihre Scheide an Mächtigkeit. Dieses findet aber nur um die Innenseite der Gefässbündel statt. Die Durchlassstellen bleiben erhalten und treten schärfer hervor. An der Aussenseite der äussersten Gefässbündel, mit stark in den Gefässtheil eingesenktem Siebtheil, ist die Schutzscheide zur Dicke einer Durchlassstelle reducirt; es haben sich dort somit die beiden Durchlassstellen der Flanken zu einer einzigen, welche die Aussenseite des Bündels einnimmt, vereinigt. — Verfolgt man in den einzelnen, verschieden stark entwickelten Gefässbündelscheiden die gegenseitigen Beziehungen der einzelnen Elemente, so sieht man, dass dieselben nicht etwa gegen einander abgesetzte Zellschichten bilden, vielmehr unregelmässig in einander greifen. Namentlich kann man leicht an Gefässbündelscheiden, welche an den Flanken des Gefässbündels nur einschichtig sind, feststellen, dass die eine Zellreihe an der Innen- und Aussenseite des Gefässbündels in mehrere Zellreihen übergeht. Ich hebe das hervor, weil wir in der Blattlamina auch etwas abweichende Verhältnisse vorfinden werden. Im Stengel treten uns die Gefässbündelscheiden somit als einheitliche Gebilde entgegen, in welchen wir auch mit Schwefelsäure, wie bereits erwähnt wurde, irgend welche dominirende Zellschicht nicht nachweisen können. — Das Grundgewebe des Stengels wird nach der Peripherie zu englumiger und namentlich in den unteren Internodien des Stengels auch dickwandiger. Das peripherische, gefässbündellose Gewebe setzt nicht scharf gegen das innere, gefässbündelführende ab, ist trotzdem als primäre Rinde im Gegensatz zu dem centralen, die Gefässbündel führenden Cylinder aufzufassen. Der Vergleich mit anderen, noch zu behandelnden Monocotylen lässt eine andere Deutung nicht zu.

Mit dem Eintritt in den Knoten büssen alle Gefässbündel ihren Intercellulargang ein. Hingegen zeigen sich ihre Vasalprimanen erhalten. Es ist hier eben das Längenwachsthum ausgeblieben, das bei den inneren Gefässbündeln des Internodiums zur Zerstörung der Primanen führte. Sind diese auch in der Peripherie des Internodiums nicht desorganisirt worden, so hängt das mit ihrer späteren Anlage in den dort gelegenen Gefässbündeln zusammen. Andererseits sind im Knoten an den-

selben Gefässbündeln, welche ihre Vasalprimanen erhalten zeigen, die Cribralprimanen ausser Thätigkeit gesetzt. Dies zeigt deutlich, dass deren Inactivirung nicht als eine Folge des Längenwachsthums aufzufassen sei, wie denn ja auch die äusseren Siebröhren der in die Dicke wachsenden Pflanzen ausser Function gesetzt werden. Abgesehen von dem Verluste des Intercellulargangs einerseits und der Erhaltung der Vasalprimanen andererseits, passiren die inneren Stammbündel den Knoten fast unverändert. Die weiter nach aussen befindlichen Gefässbündel verrathen hingegen alsbald die Neigung, die Zahl ihrer seitlichen Gefässe zu vermehren und deren Lumen gleichzeitig zu verengen. Besonders frühzeitig stellt sich diese Erscheinung in der äussersten Gefässbündelzone ein, in welcher zugleich schon Verschmelzungen von Gefässbündeln zu constatiren sind. Diese Verschmelzungen beginnen noch oberhalb der Stelle, an welcher das Gewebe der Blattscheide des zugehörigen Blattes in dasjenige des Stengels übergeht, und hält dann auch während dieses Ueberganges an. In den verschmelzenden Gefässbündeln sind fast stets nur getüpfelte Gefässe zu finden. Bei der Verschmelzung vereinigen sich die beiderseitigen Gefäss- und Siebtheile. Zwischen den verschmelzenden Bündeln beginnen alsbald die neuen Blattbündel aus der Blattscheide in den Stengel einzutreten. Bei vielen der peripherischen Knotenbündel greift jetzt der Gefässtheil so stark um den Siebtheil herum, dass das Gefässbündel einen fast concentrischen Bau erhält. Ich will einen solchen Bau als amphivasalen bezeichnen.

Die Gefässbündel der Blattspreite verhalten sich je nach dem Durchmesser, den sie zeigen, etwas verschieden. Innerhalb der flachen Spreitentheile besitzen die grösseren Gefässbündel im Wesentlichen denselben Bau wie die inneren Gefässbündel der Internodien; doch fehlt der Intercellulargang. Die Elemente der Gefässbündelscheide sind hier nur an dem Innen- und Aussenrande des Gefässbündels englumig, stark verdickt und verholzt, während sie an den Flanken weitlumiger, dünnwandiger und chlorophyllhaltig werden. Die an die Cribralprimanen grenzenden, verholzten Scheidenelemente zeichnen sich gegen die nach aussen folgenden durch weiteres Lumen und stärkere Verdickung noch mehr als im Stamme aus. Aehnlich verhält es sich mit den an die Innenkante des Gefässtheils zunächst grenzenden Scheidenelementen. Man constatirt jetzt

auch leicht, dass die chlorophyllhaltigen, parenchymatischen Scheidenelemente der Flanken sich in diese einfache Zellschicht verholzter Scheidenelemente an der Siebtheil- wie an der Holztheilkante fortsetzen. Es entspricht das der Schwendener'schen Figur 3 des Aufsatzes über „die Mestomscheide der Gramineenblätter“ [1]). In der That liegt jetzt in der so zusammengesetzten, einschichtigen Gefässbündelscheide ein Gebilde vor, verschieden von den oben und unten ansetzenden Sklerenchymfasern, welche diese Gefässbündelscheide mit der Epidermis verbinden. Diese zwischen Gefässbündelscheide und Epidermis gelegenen Sklerenchymfaserstränge sind hypodermale Gebilde, während die Gefässbündelscheide in dieser Zusammensetzung bereits die aus dem Stamme eingetretene Gefässbündelscheide fortsetzt. Verfolgt man die Gefässbündel in dem Maasse, als sie schwächer werden, so sieht man, wie die verdickten Elemente der Gefässbündelscheide an den beiden Kanten des Gefässbündels schwinden, und schliesslich eine grosszellige, einschichtige, chlorophyllhaltige, gestreckt parenchymatische Gefässbündelscheide allein das schwache Bündel umgiebt. Lässt man concentrirte Schwefelsäure auf die Blattquerschnitte einwirken, so widerstehen dieser bis zuletzt die Mittellamellen der chlorophyllhaltigen Scheide, und es fällt auf, dass die Cutinisirung besonders die Radialwände, und zwar die äusseren Theile derselben, getroffen hat. Soweit die Gefässbündelscheide noch verdickte und verholzte Elemente führt, widerstehen deren Mittellamellen weit weniger; das Bedürfniss der Cutinisirung der Mittellamellen steigt in dem Maasse, als die Verdickung abnimmt. — Auch von den chlorophyllhaltigen Elementen der Gefässbündelscheide bleibt der Siebtheil in seinen Flanken durch eine Schicht chlorophyllfreier Parenchymzellen getrennt. Es sind das dieselben parenchymatischen Grundgewebselemente des Centralcylinders, die wir in den Gefässbündeln des Stengels an den Flanken des Siebtheils fanden. In den feineren Gefässbündelzweigen erscheinen sie bereits weitlumiger als die sehr englumig gewordenen Elemente des Siebtheils; sie greifen auch seitlich mehr oder weniger weit um den Gefässtheil. Der Gefässtheil hat in solchen Gefässbündeln nur noch einige wenige

---

1) Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, Bd. XXII, 1890, Taf. IV.

gefässartige Tracheïden aufzuweisen, die sich meist direct berühren. Einige Vasalparenchymzellen begleiten diese Tracheïden eventuell noch am Innenrande des Bündels und folgen ihnen auch an der Siebtheilseite, um sie von dem wenigzelligen Siebtheile zu trennen. Bei noch weiterer Reduction des Gefässbündels sind im Gefässtheile nur noch Tracheïden zu finden, und stossen diese direct an den Siebtheil. Alsdann ist aber zu constatiren, dass die Tracheïden an ihrer dem Siebtheil zugekehrten Fläche gleichmässig verdickt und ohne Tüpfel sind. So erklärt sich die Angabe von de Bary [1]), dass die Tracheïden der kleinsten Gefässbündel von Zea Mays und Chamaedorea-Arten manchmal eine stellenweise ganz glatte, gleichsam unfertig aussehende Wand besitzen. Die entsprechenden Figuren, welche dieses Verhalten für Zea Mays illustriren, sind bei de Bary [2]) zu vergleichen. Durch gleichmässige Verdickung der Tracheïdenwandung an der Siebtheil-Seite bleiben bis zum letzten Augenblick beide Bahnen im Gefässbündel möglichst von einander geschieden. Hingegen zeigen dieselben Tracheïden Tüpfelung nach den chlorophyllhaltigen Elementen der Gefässbündelscheide, so dass eine Isolirung der Wasserbahnen nach jener Seite nicht mehr vorhanden ist. Entsprechende Behandlung mit Reagentien zeigt, dass die Tracheïde an ihrer den Siebtheil berührenden Seite stärker verholzt und meist auch stärker verdickt ist, als an den übrigen Seiten.

Innerhalb der Mittelrippe stimmen die grossen Gefässbündel in ihrem Bau mit den inneren Gefässbündeln der Stengelinternodien überein; selbst der Intercellulargang ist für gewöhnlich da. Die Gefässbündelscheide ist an den Flanken dieser Gefässbündel vorwiegend einschichtig, an der Innen- und Aussenkante mehrschichtig. Im Verhältniss zu der abnehmenden Grösse der Gefässbündel treten auch hier an Stelle der verdickten und verholzten Scheidenelemente der Flanken und später auch der Innenkante chlorophyllhaltige, dünnwandige Scheidenelemente. Eine chlorophyllhaltige Schicht des Grundgewebes schliesst des weiteren an diese Scheidenelemente an und vermittelt deren Verbindung mit dem übrigen chlorophyllfreien Grundgewebe der Rippe. An die Scheiden der sämmt-

1) Vergl. Anat. der Vegetationsorgane, p. 387.
2) l. c. p. 388, Fig. 174 und 175.

lichen Gefässbündel der Mittelrippe lehnen nach aussen Sklerenchymfaserstränge an, die bis zur Epidermis der Blattunterseite reichen.

Die Bündel der Blattspreite anastomosiren durch seitliche, schräge Verbindungszweige. Nach der Blattspitze zu werden sie dünner und biegen schliesslich an ihren Enden seitlich aus, um sich mit einem weiter laufenden Gefässbündel zu verbinden. So wird die Zahl der Gefässbündel gegen die Blattspitze kleiner, und so auch bilden die sämmtlichen Gefässbündel ein in sich geschlossenes System. Die Bündel der äussersten Spitze biegen auch wohl hakenförmig ein, um ein Nachbarbündel zu erreichen. — Der Bau der feinen Verbindungszweige zwischen den Bündeln ist noch reducirter als derjenige der dünnsten Spreitenbündel: im äussersten Falle auf eine Tracheïde und ein Paar dünnwandige Elemente des Siebtheils reducirt. Eine einschichtige chlorophyllhaltige Gefässbündelscheide umgiebt diese Gefässbündelzweige. Sie reagirt auf Schwefelsäure ganz ebenso wie an den andern entsprechend reducirten Gefässbündeln. Die Entwicklungsgeschichte dieser Verbindungsbündel [1]) lehrt, dass es dieselben Meristemzellen sind, aus welchen, durch Längstheilung, sowohl die inneren Elemente des Gefässbündels als auch der Gefässbündelscheide hervorgehen. Dieses Ergebniss der Untersuchung wird von Potonié im Schwendenerschen Sinne verwerthet für den Nachweis, dass eine Eintheilung der Gewebssysteme nach rein entwicklungsgeschichtlichen Principien im höchsten Grade unzweckmässig sei, „weil die den gleichen Functionen vorstehenden Organe oder Gewebe, die doch eine begriffliche Zusammenfassung erfordern, in entwicklungsgeschichtlicher Beziehung in der denkbar verschiedensten Weise entstehen können“. Dagegen wäre auch hier zu bemerken, dass die „gleichen Functionen“ eine begriffliche Zusammenfassung nur im physiologischen Sinne verlangen, dass diese Zusammenfassung mit morphologischen Begriffen nichts zu thun hat. Eine andere Frage ist, ob in der That nach „rein entwicklungsgeschichtlichen Principien“ eine Gewebseintheilung möglich sei. Das ist entschieden zu verneinen. Eine

---

1) Vergl. Potonié, Entwicklung der Leitbündel-Anastomosen in den Laubblättern von Zea Mays, Sitzber. d. Deutschen Bot. Gesellsch., 1886, p. 110.

morphologische Behandlung der Gewebe, wie sonst jede andere Morphologie, stützt sich vornehmlich auf den Vergleich und sucht ihre objective Begründung im phylogenetischen Gesichtspunkte. Die Entwicklungsgeschichte verhilft unter Umständen auf den richtigen Weg der Deutung, wie seit Carl Ernst v. Bär's [1]) Arbeiten allgemein anerkannt wurde. Sie thut es freilich nicht unter allen Umständen, und ist daher auch nichts leichter, als derartige Fälle ausfindig zu machen. Diese Fälle müssen selbst wieder auf dem Wege vergleichender Untersuchung ihre Deutung finden, ohne die Entwicklungsgeschichte als solche zu discreditiren. Dass übrigens aus Meristemen alle Gewebsarten hervorgehen, braucht nicht erst an dem Beispiel der Gefässbündelanastomosen von Zea gezeigt zu werden, im Wesentlichen bietet jedes secundäre Meristem dasselbe Problem. Denn das Cambium unserer Bäume bildet aus denselben Elementen den Holz- und den Bastzuwachs, und scheidet auch aus Initialzellen, welche die Gefässbündel bedienten, Theilstücke heraus, um secundäre Markstrahlen zu erzeugen.

Die Blattscheide von Zea Mays stimmt in ihrem Bau mit der Mittelrippe der Lamina im Wesentlichen überein. Die Gefässbündel sammt ihren Scheiden, und zwar die grösseren voran, beginnen sich aber von den hypodermalen Sklerenchymfasersträngen zu trennen. Der Grund der Blattscheide zeichnet sich in besonderer Weise aus. Er erscheint schon dem blossen Auge heller gefärbt und verliert die vorspringenden Rippen, so dass er ganz glatt wird. Diese so markirte Zone ist ziemlich scharf nach oben und unten abgesetzt und erreicht etwa 5 mm Höhe. Die anatomische Untersuchung lehrt, dass innerhalb der glatten Zone die hypodermalen Sklerenchymfaserstränge der Blattunterseite verschwunden sind, womit auch die vorspringenden Rippen verloren gingen. Gleichzeitig haben die Gefässbündelscheiden an Mächtigkeit gewonnen, sind aber collenchymatisch geworden. — Auf dieses Verhalten ist bereits hingewiesen worden, so von Russow [2]). Es weisen, schreibt er, die Blattscheide wie die Blattspreite bei den Gramineen häufig

1) Ueber Entwicklungsgeschichte der Thiere, Beobachtung und Reflexion, 1828.

2) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 101.

an ihrem Grunde kein verholztes Sklerenchym, sondern unverholztes collenchymatisches Gewebe auf, das in Form von Strängen, Platten oder Hohlcylindern auftritt, so z. B. bei Zea Mays, Andropogon rubrum etc. — Bei Zea Mays sind die der Rückenfläche der Blattscheide nah gebliebenen kleinen und kleinsten Gefässbündel an dieser Stelle in Collenchymscheiden vollständig eingeschlossen; die grösseren, die ihrer zunehmenden Grösse entsprechend immer weiter gegen die Innenfläche der Blattscheide sich verschoben zeigen, haben mächtige Collenchymmassen nur an der Aussenseite aufzuweisen. Verfolgt man diese starken collenchymatischen Gefässbündelscheiden nach aufwärts, so sieht man, dass sie eine Fortsetzung der sklerenchymatischen Scheiden bilden und nur durch bedeutende Vermehrung der Elemente derselben zu Stande kamen. Eine, besonders nach Schwefelsäurebehandlung, deutlich vortretende Lage von Parenchym, in welchem wir auch hier Grundgewebsparenchym des Centralcylinders erkennen, trennt die Collenchymscheide von dem Gefässbündel. Sie ist um das ganze Gefässbündel entwickelt. Ein zutreffendes Bild eines solchen, mit collenchymatischen Gefässbündelscheiden versehenen Gefässbündels aus dem „basalen Theile der Blattscheide einer jungen Pflanze“ von Zea Mays giebt de Bary in seiner vergleichenden Anatomie der Vegetationsorgane [1]). Mit schwefelsaurem Anilin und verdünnter Schwefelsäure behandelt, zeigt der Querschnitt, dass stark verholzt in dieser Region nur die Verdickungsleisten der Gefässe respective Tracheïden sind. Schwache Verholzung zeigt das die Gefässbündel umgebende Parenchym. Die innersten, an die Flanken des Siebtheils grenzenden Elemente desselben sind unverholzt. Einzelne unregelmässig zerstreute Inselgruppen im Collenchym zeigen wohl auch Verholzung, und zwar stets eine innerste, in der Collenchymzelle nachträglich eingelagerte Verdickungsschicht, die oft durch das Messer beim Schneiden abgelöst wird. — Auf Längsschnitten muss man constatiren, dass die meisten, stark lichtbrechenden collenchymatischen Elemente bedeutende Länge besitzen, doch mit nur wenig geneigten Wänden aufeinander stossen. — Auch abwärts gehen die Collenchymzellen in die verholzten, an ihren Enden zugeschärften, sklerenchymatischen Scheidenelemente

1) l. c. p. 344, Fig. 151.

über. Dieser Uebergang ist aufwärts wie abwärts ein für Sklerenchymfasern ziemlich plötzlicher. Die dünnwandigen Elemente des das Gefässbündel umgebenden Parenchyms sind kurz, mit rechtwinklig zu ihrer Längsachse orientirten Querwänden, die stärker als die Seitenwände in Kalilauge quellen, versehen, Eine weitere interessante Eigenthümlichkeit kommt innerhalb dieser hellen Zone hinzu. Die oberhalb derselben befindlichen, schraubenförmig verdickten, netzförmigen und getüpfelten Gefässe erhalten innerhalb der Zone, statt dieser Verdickung. isolirte Ringe. Der Uebergang aus der einen Verdickungsart in die andere wird bei den netzförmigen und getüpfelten Gefässen durch leiterförmige Verdickung rasch vermittelt. Die Ringe sind dicht gedrängt. — Auch die netzförmige Verdickung der kleinen Gefässe der centralen Gewebsplatte ist mehr oder weniger vollständig in eine leiterförmige bis ringförmige übergegangen. Die basale Zone der Blattscheiden soll eben dehnbar und wachsthumsfähig bleiben, um dem Aufrichten eines etwa gelagerten Stengels nicht hinderlich zu sein. — Unterhalb der glatten Zone behalten die Gefässe zunächst, auch nachdem die Gefässbündelscheiden den sklerenchymatischen Charakter zurückerlangten, die ringförmige Verdickung. Gleichzeitig sinkt die Weite der Gefässe, während ihre Zahl bedeutend zunimmt. Die vermehrten Gefässe umfassen U-förmig den Siebtheil, und in solcher Verfassung treten die Bündel in den Knoten ein. In diesem erlangen sie alsbald die Tüpfelung an den seitlich gelegenen Gefässen wieder und nehmen vor Eintritt in das Internodium den gewohnten Bau von Internodialbündeln an.

Um die Innenseite der Gefässbündel in der Medianrippe der Blattspreite und in der Blattscheide führt das Grundgewebe kleine Stärkekörner. Dieselben folgen den Gefässbündeln nicht in den Knoten.

Die Einrichtung, die sich in der collenchymatischen Ausbildung der Gefässbündelscheiden und der Aenderung der Gefässverdickung am Grunde der Blattscheiden äussert, wäre unvollkommen, wenn sie nicht von ähnlichen Aenderungen in dem Stengel begleitet wäre. So gehen denn auch die Internodialbündel des Stengels bestimmte Veränderungen ein, bevor sie den Knoten erreichen, Veränderungen, die ich zuvor unerörtert liess, weil sie hier erst ihre volle Würdigung finden können. Die betreffenden Veränderungen erstrecken sich auf

eine etwa 4 mm hohe Zone, die ihrer Lage nach mit derjenigen im Grunde der Blattscheide übereinstimmt. Diese Zone liegt etwa 6 mm oberhalb des Knotens. Schon äusserlich markirt sie sich für das blosse Auge als glatter, ganz schwach vorgewölbter Ring. Sie tritt auch deutlich hervor, wenn ein dünner medianer Längsschnitt von dem Grunde des Internodiums hergestellt wird. Auch hier erkennt man an diesem schon ohne Zuhilfenahme von Vergrösserung, dass die Gefässbündel innerhalb der fraglichen Zone ein etwas abweichendes optisches Verhalten zeigen, und auch meist eine schwache Biegung erfahren. Mit der Lupe ist eine Anschwellung der Gefässbündelscheiden an dieser Stelle zu constatiren. Eingehendere mikroskopische Untersuchung lehrt weiter, dass die Gefässbündel innerhalb jener Krümmungszone ganz dieselben Veränderungen des Baues durchmachen wie die am Grunde der Blattscheide befindlichen. Die peripherischen Gefässbündel zeigen alsdann völlig geschlossene Collenchymscheiden; die weiter nach innen folgenden, starke Collenchymbelege am Aussen- und Innenrande; die inneren Gefässbündel Collenchymbelege nur an der Aussenseite. Die dünnwandigen, inneren Parenchymlagen zeigen sich in derselben Weise wie am Grunde der Blattscheide entwickelt; dieselben Veränderungen erfahren die Gefässe, so dass eine Wiederholung der Beschreibung hier überflüssig wäre. — Vor Eintritt in den Knoten haben die Gefässbündel aber durchaus wieder ihr vorhergehendes Aussehen zurückerlangt. — Die angegebene Entfernung vom Knoten wird hier nothwendig, damit die Krümmungszone oberhalb derjenigen Stelle zu liegen komme, in welcher die Nebenwurzeln ihren Ursprung nehmen.

Bei Russow[1]) findet sich ganz allgemein die Angabe, dass im Knoten des Halms, z. B. bei Dactylis glomerata, während der ganzen Lebensdauer, statt der Sklerenchymbündel im Umfange der Leitbündel Collenchymstränge auftreten. Russow hebt diese Erscheinung hervor, um sie gegen die Annahme zu verwerthen, dass sich das Transpirationswasser in den verholzten Membranen und nicht im Lumen der Holzelemente bewege: denn thatsächlich erfahren die verholzten Sklerenchymstränge im Stengel wie im Blatt der Gramineen eine Unterbrechung.

1) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 101.

Nachdem wir die Gefässbündel des Stengels und des Blattes in ihrem Innern eingehend kennen gelernt und auf ihrer Wanderung aus dem Blatte in den Stengel verfolgt haben, können wir uns fragen, wie sich die Theile morphologisch zu einander verhalten. Es war im Blatte sicherzustellen, dass die aus dem Centralcylinder des Stammes kommende Gefässbündelscheide, nachdem sie vorübergehend eine Vermehrung ihrer Elemente und collenchymatische Ausbildung an der Basis der Blattscheide erfahren, sich wieder zusammenzog und in fortschreitender Reduction in den chlorophyllhaltigen, einschichtigen, parenchymatischen Scheiden der reducirten Gefässbündel ihren Abschluss fand. Da nun Schritt für Schritt zu verfolgen ist, dass die schliessliche Parenchymscheide der Gefässbündel die directe Fortsetzung der aus dem Stamm kommenden Scheiden bildet, so ist diese Parenchymscheide auch nicht als Phloeoterma zu deuten. Als Phloeoterma müsste sie auf die innerste Schicht des Mesophylls zurückzuführen sein, was aber nach den vorliegenden Thatsachen nicht möglich ist. Dass die Elemente dieser Parenchymscheide schliesslich den angrenzenden Mesophyllzellen sehr ähnlich werden, ändert nichts an der Sache, da derartige histologische Aehnlichkeiten über den morphologischen Werth eines Gebildes nicht entscheiden. Und ebenso wenig braucht ja auch das Grundgewebe des Centralcylinders im Stengel gegen dasjenige der Rinde abzusetzen oder von demselben histologisch verschieden zu sein. Will man aber einen morphologischen Namen für solche dem Centralcylinder zuzurechnenden Scheiden haben, so könnte man, da wir für Centralcylinder die Bezeichnung Stele, Säule, adoptirten, sie als Stelolemmen, das heisst zum Centralcylinder gehörende Hüllen, zusammenfassen. Müsste die Parenchymscheide der Gefässbündel hier als Phloeoterma gedeutet werden, so läge der Fall vor, dass sich eine innerste Scheide des der primären Rinde entsprechenden Mesophylls in das Grundgewebe des Centralcylinders des Stammes fortsetze. So hingegen bleibt die Selbständigkeit der beiden Systeme auch für diesen Fall gewahrt. Damit zeigt sich aber auch zugleich, dass die von Potonié hervorgehobene Thatsache, die feinen Gefässbündelanastomosen im Blatt von Zea Mays würden sammt Parenchymscheide aus derselben Meristemzellreihe gebildet, sich gar nicht so sehr zu den morphologisch richtigen Gesichtspunkten

in Widerspruch stellt. Ja sie lässt sich wohl im Sinne der hier gegebenen morphologischen Deutung verwerthen, indem sie auch auf eine bestimmte Zugehörigkeit der Parenchymscheide zu dem Gefässbündel, auf einen Gegensatz derselben zu dem Mesophyll hinweist.

Die Scheiden der Gramineen-Blätter sind schon wiederholt der Gegenstand eingehender Untersuchung gewesen, und neuerdings hat Schwendener [1]) eine besondere Abhandlung denselben gewidmet. Sein Interesse nahmen vornehmlich diejenigen Scheiden in Anspruch, die er als „Mestomscheiden" bezeichnet und den „Parenchymscheiden" gegenüberstellt. Diese „Mestomscheiden" zeigen die Eigenschaft „echter Schutzscheiden" und werden diesen zugezählt. Das Maassgebende hierbei ist ihr anatomischer Bau und ihr Verhalten gegen Schwefelsäure. Einer Anzahl von Gramineen gehen die „Mestomscheiden" um die Blattbündel ganz ab; bei anderen sind sie unvollständig, vornehmlich um das „Leptom" entwickelt; bei noch anderen sind sie nur um stärkere Gefässbündel vollständig, um schwächere unvollständig; schliesslich giebt es Grasblätter, welche die „Mestomscheiden" um ihre Gefässbündel bis zuletzt in vollständiger Ausbildung behalten. Die Parenchymscheide kommt aber allen Blattbündeln zu, gleichviel ob sie eine „Mestomscheide" besitzen oder nicht.

Die von Schwendener als „Mestomscheide" bezeichnete Hülle, welche zahlreiche Gramineen-Blätter um ihre Gefässbündel aufweist, sei hier zunächst als Innenscheide unterschieden. Diese Bezeichnung brauche ich im physiologischen Sinne, wobei die weitere Frage erst folgen soll, welche morphologische Deutung dieser Scheide zukommt. Schwendener bestimmt sie im Hinblick auf ihren anatomischen Bau als „echte Schutzscheide", welche der Schutzscheide der Wurzeln entspricht. Die zum Vergleich herangezogene Schutzscheide der Wurzeln ist aber als Endodermis entwickeltes Phloeoterma, was für die Innenscheide der Gramineen-Blattbündel nicht zutrifft. Diese Innenscheide ist somit der Wurzelscheide nicht homolog. Homolog der Wurzelscheide ist hier weder diese Scheide noch

---

1) Die Mestomscheiden der Gramineen-Blätter, Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, Bd. XXII, 1890, p. 405; dort die übrige Litteratur.

die „Parenchymscheide", denn beide sind Stelolemmen. Das innere Stelolemma geht hier aus der Parenchymschicht hervor, welche bei Zea das Gefässbündel von dem einzigen Stelolemma trennt. Diese Parenchymschicht ist aber, wie wir gesehen haben, Grundgewebe des Centralcylinders. Mit der Anpassung dieser Gewebsschicht an bestimmte Functionen des Abschlusses und Schutzes hat sie bis zu einem gewissen Maasse ihre Gestalt und vornehmlich ihre Verdickungsweise und ihren chemischen Charakter verändert, und ist den zu Endodermen ausgebildeten Phloeotermen der Wurzeln dadurch analog geworden. Die Veränderung der Gestalt besteht in einer, oft nur wenig ausgeprägten Neigung der Terminalwände; die Verdickung hat vornehmlich die Innenseite der Wände getroffen; diese Wände sind verholzt, die Mittellamellen mehr oder weniger cutinisirt. Im Allgemeinen ist festzustellen, was auch Schwendener hervorhebt, dass in dem Maasse, als die Innenscheide unvollständig wird oder schwindet, die äussere mehr oder weniger parenchymatische Scheide in ihre Functionen tritt und sich dies in partiellen Verdickungen ihrer Zellen und der mehr oder weniger ausgeprägten Cutinisirung der Mittellamellen zu erkennen giebt. Bei partiellem Schwund der Innenscheide pflegen an der Aussenscheide sich die erwähnten Eigenschaften zunächst an den blosgelegten Gefässbündelseiten zu zeigen. — Wir haben in Zea Mays ein Beispiel kennen gelernt, in welchem eine Innenscheide gar nicht ausgebildet wird und demgemäss das einfache parenchymatische Stelolemma der reducirten Gefässbündel sich widerstandsfähig gegen Schwefelsäure zeigt. Ich habe eine grosse Anzahl von Gramineen-Blättern auf die hier berührten Verhältnisse untersucht, doch halte ich es für überflüssig, auf weitere Einzelheiten einzugehen. Bemerken möchte ich aber noch, dass bei verschiedenen Gramineen, namentlich solchen, welche eine verdickte Innenscheide nur um den Siebtheil entwickeln, so beispielsweise bei Saccharum officinarum oder Erianthus Ravennae, die Verdickung vielfach auch die zwischen dem Gefässtheil und dem Siebtheil vertretenen Vasalparenchymzellen ergreift. Das kann unter Umständen zu einem vollen Abschluss der Siebtheile innerhalb bestimmter Abschnitte der Leitungsbahn führen. Auch ist hervorzuheben, dass bei denjenigen Gramineen-Blättern, für welche Schwendener einen dauernden Abschluss der Gefässbündel durch vollständige

Innenscheiden angiebt[1]), die Verdickung der Elemente dieser Innenscheiden gegen die Bündelenden abnimmt, eventuell fast schwindet, während die Mittellamellen ihre Resistenzfähigkeit gegen Schwefelsäure behalten. Die Aussenscheide wird in solchen Fällen wenig abgesetzt und nur stellenweise widerstandsfähiger. Untersucht habe ich im Hinblick auf die letzten Verhältnisse Brachypodium pinnatum, Elymus giganteus und Hordeum vulgare. Zu einer Angabe Schwendener's ist hier noch eine Bemerkung nothwendig. Schwendener schreibt nämlich[2]): „Die luftführenden Zwischenräume, welche in der Regel nicht blos bei den Gramineen, sondern überhaupt bei den Gefässpflanzen die normale Parenchymscheide der Blattbündel stellenweise durchbrechen, und oft sogar eine ansehnliche Grösse erreichen, gehen den modificirten Scheiden vollständig ab; ihr Zellverband erscheint durchweg lückenlos.“ Diese Angabe trifft in ihrem ersten Theile nicht zu, vielmehr schliessen die Parenchymscheiden, ob sie nun allein um feinere Gefässbündel vertreten, ob sie dem Gewebe des Mesophylls oder des Centralcylinders zuzurechnen sind, soweit nicht andere innere Abschlüsse vorhanden, lückenlos zusammen. Ausnahmen von diesem Verhalten sind sehr selten; hingegen ist eine Cutinisirung der Wände bei den die Bündelenden abschliessenden Parenchymscheiden nicht immer nachzuweisen.

Auf Längsschnitten und successiven Querschnitten, die durch einen Knoten geführt werden, fallen dem Beobachter, ausser den Blattspursträngen, auch noch andere Gefässbündel auf[3]). Dieselben sind in einer etwa 4 mm hohen Zone innerhalb des Knotens vertreten, steigen ausserdem, von dieser Stelle aus, in einer peripherischen Zone des nächst höheren Internodiums, um etwa eine gleiche Höhe auf. Sie bilden ein dichtes Geflecht anastomosirender Zweige, welche ganz vorwiegend horizontal verlaufen, die Gefässbündel des Knotens und der Peripherie der Internodial-Basis vielfach umschlingen

---

1) l. c. p. 408.

2) l. c. p. 411.

3) Vergl. hierzu Schleiden, Grundzüge der wiss. Bot., IV. Aufl., p. 367; Guillaud, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. V, p. 129, und Falkenberg, Vergl. Unters. über den Bau der Vegetationsorgane der Monocotyledonen, 1876, p. 125.

und an zahlreichen Stellen mit denselben verschmolzen sind. Dieses Gefässbündel-System setzt sich in die Achselknospe fort. An die in der Peripherie der Internodial-Basis aufsteigenden Achselknospenbündel setzen die Gefässbündel der Nebenwurzeln an. Dieses peripherische Gefässbündel-System der Internodial-Basis umrankt nicht nur die Gefässbündel der beiden äussersten Zonen derselben, es breitet sich ausserdem noch in einem Gürtel ausserhalb derselben aus; dieser Gürtel entspricht dem Pericykel. Erst die Achselknospenbündel jenes Gürtels bilden die Anknüpfungspunkte für die Gefässbündel der Nebenwurzeln. Ruhende Wurzelanlagen werden eventuell noch in dem achten, ja in einem noch höheren Knoten, 40 cm und mehr über dem Boden, ausgebildet. Die Wurzelanlagen erscheinen als ein Kranz regelmässig vertheilter Höcker, die nur wenig über die Oberfläche der Internodien-Basis vorspringen. Sie finden ihren Ursprung in dem eben genannten Gewebe des Pericykels, wie dies so ausführlich neuerdings wieder von Van Tieghem und Douliot gezeigt worden ist [1]). Sie entspringen dicht unterhalb der Zone, die wir als Krümmungszone der Internodien kennen gelernt haben. Zur functionellen Ausbildung gelangen normaler Weise nur die Wurzelanlagen der im Boden befindlichen Knoten, respective der dicht über dem Boden gelegenen. Querschnitte in der Höhe ruhender Wurzelanlagen zeigen, dass die Achselknospenbündel unter diesen Anlagen im unfertigen Zustande verharren. Die Achselknospenbündel erscheinen um so jünger, je näher sie sich der Wurzelanlage befinden. Innerhalb der Wurzelanlage verlieren sich die allseitig herantretenden Gefässbündel in einem meristematischen Gewebe, das flach kegelförmig nach aussen vorgewölbt ist. Dieses meristematische Gewebe, sowie die in beginnender Differenzirung befindlichen Gefässbündelanlagen, erscheint in anticliner Richtung gestreift, entsprechend der Richtung der Zellenzüge, die hier durch pericline Theilung der Grundgewebszellen entstanden sind. Ausserhalb des meristematischen Hügels, in welchem die Gefässbündelanlagen sich verlieren, befindet sich ein zweiter, schwächer vorgewölbter meristematischer Streifen, der sich rasch an

1) Recherches comparatives sur l'origine des membres endogènes dans les plantes vasculaires. Ann. des sc. nat., Bot., VII. Sér., T. VIII, 1889, und Separatausg. p. 491.

seinen Rändern verjüngt: es ist dies der Vegetationskegel der Wurzelanlage.

Auffallend ist es, dass in allen diesen die Achselknospen und die Nebenwurzeln versorgenden Gefässbündeln der Siebtheil von dem Gefässtheil umfasst wird. Diese Gefässbündel habe ich zuvor schon als amphivasal bezeichnet, und scheint mir diese Bezeichnung zutreffender als die bisher benutzte „concentrische Gefässbündel“ zu sein. Im Gegensatze zu solchen amphivasalen Gefässbündeln würde ich alsdann diejenigen, die jetzt auch als concentrisch bezeichnet werden, bei welchen aber der Gefässtheil vom Siebtheil umfasst wird, amphicribrale nennen. Amphivasale Gefässbündel sind am häufigsten bisher in den Rhizomen der Monocotylen beobachtet worden, finden sich aber auch in anderen Stammtheilen, nicht nur bei Monocotylen, sondern auch bei Dicotylen vertreten [1]). Ihr relativ häufiges Vorkommen in Reservestoffbehältern legt den Gedanken nahe, dass das Herauskehren der Gefässe nach aussen Vortheile bei der Aufnahme der in diesen Behältern deponirten Reservestoffe gewähren könnte. Aehnlich würde hier durch den nämlichen Bau die Aufnahme der für die Entwicklung der Achselknospen- und Wurzelanlagen nöthigen Stoffe gefördert werden. Doch diese Fragen mögen hier nur angedeutet werden, wir kommen auf dieselben später zurück. — In den amphivasalen Achselknospenbündeln der Zea Mays enthält der Gefässtheil ausschliesslich behöft getüpfelte, kurzgliedrige Gefässe, die vielfach tracheïdalen Abschluss zeigen. Diese Gefässe stossen zum Theil an einander, zum Theil sind sie durch Vasalparenchym getrennt, das sie auch von der Scheide und dem Siebtheil sondert. Der Siebtheil führt seine, an ihrer geringen Weite kenntlichen Primanen in der Mitte. Die Scheide ist nur schwach entwickelt, daher auch ohne besondere Durchlassstellen.

Stärke ist weder im Gefässbündel noch im Grundgewebe der ausgewachsenen Internodien von Zea Mays nachzuweisen;

1) Ich will hier die ziemlich umfangreiche Litteratur nicht aufzählen, verweise vielmehr auf die neuerdings von M. Möbius gegebene Zusammenstellung, Ber. d. Deutschen Bot. Gesellsch., 1887, p. 2. — Zu erwähnen ist, dass Guillaud, Ann. des sc. nat., Bot., VI. sér., T. V, p. 1, von dem Studium der monocotylen Rhizome ausgehend, sogar geneigt ist, den amphivasalen Bau den Gefässbündeln der Monocotylen überhaupt zu vindiciren (p. 152).

wohl aber, wie wir gesehen haben, im Grundgewebe der Blattscheiden und der Blattmittelnerven, sowie in dem Gefässtheile der grösseren Bündel an denselben Orten. In den Siebröhren kann man unschwer Leucoplasten als stark lichtbrechende Körner in dem zarten protoplasmatischen Wandbelege erkennen. In völlig unversehrten Siebröhren sind dieselben zerstreut an den Seitenwänden, doch vorwiegend in den Enden der Glieder, vertreten. Im übrigen führen die Siebröhren von Zea Mays dünnflüssigen Inhalt. Die Siebplatten sind in den Siebröhren meist genau quer gestellt und ohne merkliche Krümmung. — In Siebröhren die durch das Schneiden beeinflusst worden sind, findet man die Siebplatten in einer bestimmten Richtung vorgewölbt, die Leucoplasten mehr oder weniger des organisirt und unter der concaven Seite der Siebplatte angesammelt, hier, mit Theilen des Wandplasmas zusammen, einen schwachen „Schlauchkopf" bildend. Mit Jodjodkalium, selbst bei Zuhilfenahme von Chloralhydrat, ist Stärke in den Leucoplasten von Zea Mays nicht nachzuweisen.

Dass die Vorwölbung der Siebplatten und die einseitige Ansammlung des Inhalts in den Siebröhrengliedern künstlich durch den Schnitt veranlasst wird, ist hier sicher festzustellen. Gewöhnlich kann man nämlich constatiren, dass an den beiden Enden des Schnittes die Vorwölbung entgegengesetzt und zwar gegen die Endflächen des Schnittes gerichtet ist. In den mittleren Theilen des Schnittes findet man am leichtesten unversehrte Siebröhren mit normaler Disposition des Inhalts und der Siebplatten. Der Druck, unter dem der Inhalt der Siebröhren steht, ist die Ursache des geschilderten Verhaltens: der Inhalt wird gegen die Endflächen des Schnittes gepresst[1]).

Wir haben zuvor schon festgestellt, dass der Intercellulargang des Vasaltheils innerhalb des Stengelknotens, und so auch innerhalb der Stengelglieder, in den unteren Bündelenden schwindet und die Vasalprimanen an jener Stelle sich erhalten zeigen. Das führt zu der Annahme, dass der Intercellulargang in die Function der zerstörten Gefässe tritt. Es ist das auch in der That der Fall, und Schnitte, die mit einem

1) Vergl. auch die entsprechenden Angaben von Lecomte, Contribution à l'étude du liber des Angiospermes, Ann. des sc. nat., Bot., VII. sér., T. X, p. 273.

Doppelmesser bei richtigen Vorsichtsmaassregeln ausgeführt werden, zeigen ihn ebenso, wie die Gefässe selbst, mehr oder weniger vollständig mit Wasser angefüllt. — Dass der Intercellulargang innerhalb der Gefässbündel einiger Monocotylen und der Equiseten Wasser führt, war schon durch Westermaier [1]) nachgewiesen worden.

Um eine klare Vorstellung über die Bahnen zu gewinnen, welche die zu leitenden Stoffe innerhalb des Stengels von Zea Mays zurückzulegen haben, verfolgte ich hier auch den ganzen Gefässbündelverlauf.

Den Angaben von Falkenberg [2]) nach sollen die Blattspurstränge von Zea Mays bis zu verschiedener Tiefe in den Stengel eindringen. Die einen Gefässbündel laufen, nach Falkenberg, oberflächlich im Centralcylinder abwärts, die anderen dringen tiefer in das Stengelinnere hinein und kehren nach unten gegen die Oberfläche des Cylinders zurück. Auch giebt Falkenberg an, dass die Blattspurstränge nicht direct bis in die Mitte des Stengels gelangen, sondern „dass in der Mitte des von den neu eintretenden Blattspursträngen gebildeten Kreises sich eine Gruppe von Fibrovasalsträngen findet, die, ohne in das Blatt hinauszutreten, weiter nach oben verlaufen und in das nächst höhere Internodium übergehen“ [3]).

Im Grunde der Blattscheide, nachdem alle Gefässbündel die Unterseite des Blattes verlassen haben, ordnen sich dieselben so an, dass sie, entsprechend ihrer zunehmenden Grösse, der Blattoberseite näher gerückt erscheinen. Es lassen sich etwa fünf verschiedene Grössenverhältnisse unter diesen Gefässbündeln unterscheiden und dementsprechend auch etwa fünf concentrische Zonen, in welchen diese Gefässbündel angeordnet sind. Die Gefässbündel erster, zweiter und dritter Grösse haben collenchymatische, respective sklerenchymatische Belege nur an der Aussenseite, diejenigen vierter und fünfter Grösse im ganzen Umfang aufzuweisen. Ihrer Grösse gemäss treten diese Gefässbündel alsbald in den Knoten ein. Sofort nach Vereinigung des Gewebes der Scheide mit demjenigen des

---

1) Sitzber. d. Akad. d. Wiss. in Berlin, 1884, p. 1106 ff.

2) Vergleichende Untersuchungen über den Bau der Vegetationsorgane der Monocotyledonen, 1876, p. 125.

3) Ebendas. p. 123.

Knotens wandert das mediane Bündel in den Knoten ein. Ihm folgen fast gleichzeitig, im ganzen Umkreis, die übrigen Bündel erster Grösse. Das mediane Bündel ist daran kenntlich, dass der sklerenchymatische Beleg seiner Scheide in zwei, auch wohl in mehr Abschnitte gespalten wird. Erst nachdem die Gefässbündel erster Grösse die peripherische Zone der Gefässbündel des Knotens passirt haben, rücken die Blattbündel zweiter Grösse nach, und nachdem auch diese die Zone peripherischer Knotenbündel durchsetzten, die Bündel dritter Grösse. Sind letztere durch die peripherische Zone gelangt, so folgen die Bündel vierter Grösse als die letzten nach, da mit denselben, vor deren Eintritt, die Bündel fünfter Grösse verschmolzen sind. Das Medianbündel hat alsbald über die anderen Bündel erster Grösse einen Vorsprung erlangt, es eilt fast bis zur Mitte des Knotens, um alsdann in scharfem Bogen ziemlich gerade abwärts zu biegen. Die anderen Blattbündel erster Grösse legen, in ähnlichem Verlauf, nur etwa den halben Radius zurück, um sich dann abwärts zu wenden. Diejenigen dritter Grösse halten in halber Entfernung zwischen den Bündeln zweiter Grösse und der Oberfläche des Knotens ein und biegen nach unten um. Die Blattbündel vierter Grösse endlich werden in die peripherische Zone der vorhandenen Knotenbündel eingeschaltet. Die medianen Blattspurstränge laufen meist über sechs Internodien abwärts, bevor sie sich einem anderen Gefässbündel anlegen. Bei den anderen Blattspursträngen erfolgt dieser Anschluss um so früher, je näher sie bei ihrem Eintritt der Stengeloberfläche geblieben sind. Die Blattspurstränge vierter Grösse, die in der peripherischen Gefässbündelzone des Stengels verbleiben, laufen zum Theil frei bis zum nächst tieferen Knoten, zum Theil verschmelzen mit denselben sofort aus höheren Internodien kommende Bündel. Wir constatirten bereits, dass Gefässbündelverschmelzungen nur im Knoten und zwar in der äussersten Gefässbündelzone desselben vor sich gehen, sie erfolgen vor und während des Eintritts der neuen Blattspurstränge. Aus dieser Thatsache einer ausschliesslich peripherischen Verschmelzung folgt bereits, dass alle Gefässbündel in solche peripherische Lage gelangen müssen, bevor sie mit anderen sich vereinigen. Der Verlauf ist thatsächlich der, dass die Blattspurstränge bei ihrem Eintritt, ihrer Stärke entsprechend, verschieden tief in den Knoten eindringen, in den Internodien

gerade abwärts laufen, in jedem nächsttieferen Knoten, mit grösserer oder geringerer Regelmässigkeit, eine Auswärtskrümmung ausführen, bis dass sie in den peripherischen Bündelkreis gelangen. Die kleinsten Blattspurstränge bleiben sofort in dem peripherischen Kreise, wie wiederholt schon hervorgehoben wurde. Die Zahl der Internodien, welche die einzelnen Blattspurstränge durchlaufen, ist nicht ganz bestimmt, es hängt dieselbe von der Stärke der Auswärtskrümmung ab, welche die Stränge innerhalb der Knoten ausgeführt haben. Die Angabe von Falkenberg, dass die Blattspurstränge in dem nächst tieferen Knoten der Mitte sich nähern und hierauf erst die Bewegung nach der Peripherie beginnen, kann ich nicht bestätigen. Solchen Verlauf zeigen hin und wieder einzelne Bündel, doch darf er nicht als Regel gelten.

Mit dieser Schilderung ist übrigens das ganze Bild des Gefässbündelverlaufs von Zea Mays noch nicht entworfen. Werden tangentiale Längsschnitte in der Peripherie eines Knotens geführt, so ergeben dieselben, dass innerhalb des Knotens auch Spaltungen von Bündeln in absteigenden Richtungen erfolgen. Diese Spaltungen sind sowohl oberhalb als unterhalb neu eingetrener Blattspurstränge zu beobachten. Manches Gefässbündel gabelt sich über einer solchen Eintrittsstelle, um Platz dem neuen Strange zu machen; seine Gabeläste verschmelzen dann auch wohl, eine Masche bildend, wieder unter dieser Stelle, nehmen benachbarte Gefässbündel auf oder gehen in diese über. So wird in der Eintrittshöhe der Blattspurstränge ein peripherisches Netz aus sich spaltenden und vereinigenden Gefässbündelästen ausgebildet, dem Gefässbündelsystem einen noch einheitlicheren Zusammenhang verschaffend.

Da Verschmelzungen nur in der äussersten Gefässbündelzone des Stengels erfolgen, die unteren Enden aller Gefässbündel bis in diese Zone gelangen, in jener Zone aber nur reducirte Gefässbündel anzutreffen sind, so folgt hieraus schon, dass alle grösseren Blattspurstränge eine entsprechende Vereinfachung ihres Baues vor der Vereinigung mit anderen Gefässbündeln erfahren. Diese Vereinfachung erfolgt in dem Maasse, als sich das Gefässbündel der Stengeloberfläche nähert; daher der Querschnitt uns in der peripherischen Zone immer schwächer werdende Gefässbündel vorführt. Wie schon früher angegeben, schwinden in den Gefässbündeln zunächst die medianen Trache-

iden und Gefässe, dann nehmen die seitlichen an Grösse ab und rücken zusammen und werden durch zwischenliegende Gefässglieder verbunden. Im Verhältniss nimmt die Masse des Vasalparenchyms ab. Gleichzeitig wird der Siebtheil, und zwar in noch höherem Maasse, reducirt. Verfolgt man die Gefässbündel auf Quer- und Längsschnitten in ihrem Verlauf, so constatirt man, dass die Vereinfachung nur innerhalb des Knotens und im Wesentlichen nur innerhalb der beiden äussersten Gefässbündelzonen vor sich geht. Solange sie nicht diese peripherischen Zonen erreicht haben, bleiben die Gefässbündel annähernd unverändert, dann aber verlassen sie entsprechend reducirt den Knoten. Innerhalb des Knotens werden die Gefässe dieser äusseren Gefässbündelzone vermehrt, ihr Lumen zugleich verkleinert. Hierbei finden die aufhörenden Gefässe den Anschluss an die bleibenden. Sie gehen mit ihren Enden in dieselben über. In der vorletzten Zone des Knotens sind noch Gefässe der medianen Reihe vertreten, in der äussersten Zone nur noch getüpfelte Gefässe, die aus den seitlichen Gefässen und den sie verbindenden entstanden. Nur noch mit diesen getüpfelten Gefässen ausgestattet, durchläuft das Gefässbündel das letzte Internodium und tritt so in den Knoten ein, in welchem die Verschmelzung erfolgen soll. Diese erfolgt somit nur durch Vermittlung getüpfelter Gefässe. Die verschmelzenden Bündel legen sich hierbei mit ihren Seiten an einander und laufen gemeinschaftlich weiter, wobei die Zahl ihrer Gefässe reducirt wird. Diese Abnahme erfolgt, indem höher gelegene Gefässe in Mehrzahl mit ihren Enden an tiefer gelegene ansetzen. So gehen die Gefässe des Bündelendes schliesslich continuirlich in diejenigen des fortlaufenden Bündels über. Zwischen den Gefässen beider Bündel ist meist eine offene, durch die Löcher der Endflächen hergestellte Verbindung gegeben. In entsprechender Weise erfolgt auch die Vereinigung der übrigen Bestandtheile beider Gefässbündel, nicht durch plötzliches Ansetzen, sondern durch allmähliches Uebergehen in die Continuität der Elemente des aufnehmenden Bündels. Die Vereinigung ist vollzogen, bevor das fortlaufende Gefässbündel aus dem Knoten getreten ist. Unterhalb desselben hat letzteres durchaus das Aussehen eines einfachen Blattspurstranges.

Aus der starken Reduction, welche die grösseren Blattspurstränge in ihrem unteren Verlauf erfahren, folgt auch mit

Nothwendigkeit, dass die Wasserbahnen sich nach unten zu verengen. Bei der Vereinigung der aus höheren Internodien kommenden, aufhörenden Gefässbündel, mit den weiter abwärts laufenden, findet aber eine abermalige Reduction statt, denn das aus der Vereinigung hervorgegangene Bündel ist unterhalb des Knotens, in welchem diese Vereinigung erfolgte, kaum stärker, als es jedes der beiden Bündel zuvor gewesen ist. So zeigt uns denn Zea Mays auf das augenscheinlichste, wie enge Bahnen für die Wasserbedürfnisse einer mit grossen Blättern versehenen und kräftig transpirirenden Pflanze genügen. Die Erweiterungen, welche die Wasserbahnen in ihrem oberen Theile erfahren, können aber nur den Zwecken der Wasseraufspeicherung dienen. Diese Reservoire dürften bei gesteigerter Transpiration und herabgesetzter Wasserzufuhr mehr oder weniger geleert werden. Sie könnten während des Tages einen Theil ihres Inhaltes einbüssen, des Nachts aber sich füllen.

Dass in den Gefässbündeln von Zea Mays auch die von den Proteïnstoffen befolgten Bahnen nach abwärts eine sehr starke Verengung erfahren, beweist, dass hier eine ergiebige Abwärtsleitung dieser Stoffe nicht bezweckt wird, und die engen Bahnen für dieselbe genügen. — Als eine gewiss vortheilhafte Einrichtung, in Rücksicht auf das oben erwähnte Verhalten der Gefässbündel von Zea, darf es wohl gelten, dass die Achselknospenbündel an die inneren Gefässbündel des Knotens, besonders aber an die neu eintretenden Blattspurstränge erster bis dritter Grösse, das heisst an lauter Bündel mit noch stark entwickeltem Siebtheil, ansetzen. Die Art wie dieser Ansatz erfolgt, ist ganz instructiv; das Achselknospenbündel trifft auf das Stengelbündel unter annähernd rechtem Winkel; um die Richtung des Stengelbündels zu erlangen, führen seine Elemente jetzt aber Krümmungen, zum Theil ganz abenteuerlicher Art, aus. Die umgebogenen Gefässe legen sich nach oben und unten den Gefässen des Blattspurstranges an und gelangen so in deren unmittelbare Fortsetzung und in offene Communication mit denselben; ebensolche Biegungen zeigen auch die übrigen Elemente des Gefässtheils, so auch diejenigen des Siebtheils und der Scheide, um in die gleichnamigen des Blattspurstranges überzugehen. Der Anschluss erfolgt stets von einer Seite her, an der Grenze zwischen Gefäss- und Siebtheil.

Aufeinander folgende Querschnitte durch die Basis eines kräftig entwickelten Achselsprosses lehren, dass in dem Maasse, als der Durchmesser derselben an der Ansatzstelle abnimmt, die Verschmelzungen seiner Bündel fortschreiten. Zunächst erfolgen diese Verschmelzungen in der Peripherie, dann pflanzen sie sich auch auf das Innere fort. Gleichzeitig nehmen die aus solchen Verschmelzungen hervorgegangenen Bündel mehr oder weniger ausgeprägten amphivasalen Charakter an. So gehen sie in die Mutterpflanze über. Ihrer Natur nach sind diese Bündel ja auch die unteren Enden von Blattquersträngen; thatsächlich zeigen sie sich aber in dem Knoten der Mutteraxe bereits fertig ausgebildet, während die Achselknospe noch ruht. Und ähnlich verhalten sich auch im Grunde der Internodien die Gefässbündel, in welche sich die Gefässbündel etwa in Entwicklung tretender Nebenwurzeln fortsetzen werden. Dass auch die Wasserbahnen des Achselsprosses eine auffallende Reduction ihres Durchmessers erfahren, indem sie an die Wasserbahnen der Mutteraxe anschliessen, fällt ohne Weiteres in die Augen.

Querschnitte durch ausgewachsene Theile der Nebenwurzeln von Zea Mays zeigen uns das bekannte Bild des axilen Gefässbündelcylinders, mit den strahlenförmig angeordneten, alternirenden Gefäss- und Siebtheilen. Stark verdicktes und verholztes, englumiges Grundgewebe umfasst die Gefäss- wie die Siebtheile. Jeder Gefässstrahl bildet in seinem äusseren Theile eine geschlossene Gruppe, die mit einem grösseren Gefäss nach innen zu abschliesst. Die diese Gruppe umfassende Zellschicht ist nicht von der Umgebung abgesetzt. In den einzelnen Strahlen der Siebtheile stehen die Siebröhren vorwiegend im Umkreis, die englumigeren Geleitzellen nehmen das Innere ein. Gefäss- und Siebstrahlen sind meist durch mehrere Zelllagen von einander seitlich getrennt. Nach dem Innern des Centralcylinders zu folgen isolirte, weitlumige Gefässe. Das Gewebe um dieselben zeigt immer noch dieselbe starke Verdickung wie dasjenige, welches die äusseren Strahlen trennt. Die den weiten Gefässen zunächst anliegende Zellschicht ist auch wenig markirt. Sie unterscheidet sich aber doch, wie Längsschnitte lehren, durch geringere Höhe ihrer Elemente und netzförmige Verdickung von ihrer Umgebung. Auch sind jene Zellen etwas inhaltsreicher, wie dies besonders nach Behandlung fixirter Präparate mit Anilinblau sich zeigt. Eine Trennung des Gewebes, welches die

Gefäss- und Siebtheile in sich aufnimmt, in Gefässbündelparenchym und Grundgewebe, liesse sich bei alledem hier nur theoretisch durchführen; in Wirklichkeit sind beide Gewebe nicht geschieden was ja auch ihrer nahen Verwandtschaft ganz wohl entspricht. Die Mitte des Centralcylinders wird von weitlumigerem, dünnwandigerem, unverholztem Grundgewebe eingenommen. In dieses springen die englumigen Gewebsmassen, welche die weiten Gefässe umgeben, vor. Das mittlere Gewebe des Centralcylinders ist als Mark zu bezeichnen. Das verdickte äussere Gewebe des Centralcylinders ist sklerenchymatisch. Seine Elemente sind langgestreckt, mit engen, schräg aufsteigenden Tüpfeln versehen. Allein auch diese Elemente haben nur wenig geneigte Querwände aufzuweisen. Sie zeigen sich durch Uebergänge mit den weitlumigeren, nur wenig gestreckten Elementen des Markes verbunden. Die Querwände der verdickten Elemente zeichnen sich durch etwas stärkere Lichtbrechung aus. Diese Erscheinung wird noch auffallender bei Anwendung von Kalilauge, wobei die Querwände weit stärker als die Seitenwände quellen. Es mögen das Eigenschaften sein, welche die Längsleitung in diesen Elementen erleichtern. An den Querwänden der Markzellen ist Aehnliches nicht zu beobachten. Die verdickten Elemente schliessen ohne Intercellularen zusammen und grenzen so die Gefäss- und Siebtheile von dem mit lufthaltigen Intercellularen ausgestatteten Marke ab.

In einigen Millimetern Entfernung von der Insertionsstelle der Nebenwurzel beginnt die Anordnung der Elemente des Centralcylinders sich zu verändern. Wir wollen diese Veränderungen nach dem Stengel zu verfolgen. Die inneren Theile der peripherischen Gefässstrahlen trennen sich zunächst ab, bewegen sich nach innen und vereinigen sich dort mit den weiten Gefässen. Zugleich fangen die Siebtheile an sich in radialer Richtung zu strecken und geben einzelne Zweige nach innen zu ab, die seitlich an die Gefässgruppen anschliessen. So entsteht ein collaterales Bündel, in welchem die die Gefässe umgebenden Parenchymzellen das Vasalparenchym darstellen. Aus den umgebenden, verdickten Grundgewebselementen geht die das Bündel umschliessende Scheide hervor. So rücken von aussen nach innen immer zahlreichere, fertig gestellte Gefässbündel in das ursprüngliche Markgewebe ein, dessen gefässbündelfreier Raum sich stätig verengt. Zuletzt werden kleinere Gefässbündel

aus den restirenden peripherischen Theilen der Gefäss- und Siebstrahlen hergestellt. — Zahlreiche Verschmelzungen sind während dieser Vorgänge zwischen den entstehenden Gefässbündeln zu beobachten. — Schon bei der Vereinigung der Gefäss- und Siebtheile umfasst der Gefässtheil mehr oder weniger stark den Siebtheil. Weiterhin nehmen die meisten Gefässbündel einen ausgeprägt amphivasalen Bau an, um so mit den Gefässbündeln des Stengels zu verschmelzen. — Da wir den Bau der Wurzel als Ausgangspunkt unserer Betrachtung wählten, so mussten wir die Veränderungen, welche die Gefässbündel an deren Insertionsstelle erfahren, so schildern, als wenn sie von der Wurzel nach dem Stengel zu erfolgen, thatsächlich finden aber diese Veränderungen in umgekehrter Richtung statt, und die im Stengel unter der Wurzelanlage zunächst gegebenen, getrennten, amphivasalen Gefässbündel sind es, welche sich in der auswachsenden Wurzel in ihre Bestandtheile zerlegen, die sich schliesslich so vereinigen und anordnen, wie es für den Centralcylinder der Wurzel charakteristisch ist. Die Zahl der in die Wurzel eintretenden Gefässbündel ist relativ sehr gross, wodurch die Vertheilung des aufgenommenen Bodenwassers auf sehr viele Bahnen innerhalb des Stengels ermöglicht wird. Die kleinsten der austretenden Gefässbündel gehören der Peripherie des Centralcylinders des Stengels an. Die Gewebe der Wurzel setzen sich, ihrem Ursprung gemäss, in dem Pericykel des Stengels fort; kurz zuvor schwindet das cutinisirte Band der Endodermis [1]).

Nicht ohne einige Ueberraschung musste ich die Thatsache constatiren, dass das oberste der völlig ausgewachsenen und entfalteten Blätter eines noch in der Entwicklung befindlichen Stengels von einem so äusserst kurzen, erst wenige Centimeter messenden Internodium getragen wird. In einem bestimmten, näher untersuchten Falle, an einer kräftigen Pflanze, maass das oberste der fertigen Blätter ohne Scheide 1,10 m Länge, bei einer grössten Breite von 8 cm, das zugehörige

1) Ueber den Ursprung der Nebenwurzeln und deren Insertion am Stengel vergl. im Uebrigen Van Tieghem und Douliot, Recherches comparatives sur l'origine des membres endogènes dans les plantes vasculaires, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. sér., Bd. VIII, p. 406, 1888, und Van Tieghem, Traité de Botanique, II. Aufl., p. 783.

Internodium 2 cm. Querschnitte in halber Höbe dieses Internodiums zeigten die Gefässbündel auf wenig vorgeschrittenen Entwicklungsstadien, besonders jung in der Peripherie. Nur eine mediane Reihe der Tracheïden der Bündel, die Vasalprimanen, waren fertig. Die innersten dieser Tracheïden sind, wie wir wissen, gefässartige Ringtracheïden, die folgenden ebensolche Schraubentracheïden. Sie waren in den innern Gefässbündeln des Internodiums in Drei- bis Vierzahl ausgebildet, nahe der Peripherie, entsprechend der Grössenabnahme der Bündel, in geringerer Anzahl. Die zwei seitlichen Gefässe zeigten sich noch in der Entwicklung begriffen. So waren denn diejenigen äussersten Gefässbündel, welchen die medianen Tracheïden überhaupt fehlen, noch ganz ohne fertige wasserleitende Elemente. Der Intercellulargang deutete sich an den inneren Gefässbündeln eben erst an. Die Cribralprimanen aller mit solchen Elementen versehenen Gefässbündel standen schon in voller Thätigkeit. Zwischen den fertig gestellten Gefäss- und Siebtheilen zeigte das in radiale Reihen angeordnete Gewebe durchaus das Aussehen eines dicotylen Cambiums. — Eine Behandlung der Querschnitte mit schwefelsaurem Anilin und verdünnter Schwefelsäure lehrte, dass in einem solchen Internodium nur die Ringe und Schraubenbänder der Tracheïden verholzt, sonst nur dünnwandige, unverholzte Elemente vertreten waren. Da stehen somit als wasserleitende Elemente nur die wenigen ausgebildeten Tracheïden zur Verfügung. Dass dieselben aber dem Geschäfte der Wasserleitung für das fertige Blatt genügen, darf uns nicht mehr Wunder nehmen, nachdem wir wissen, wie sehr sich auch die fertigen Wasserbahnen nach abwärts verengen. Den Transpirationsverlust bestimmte ich für zwei fertige Blätter, an einem trüben Tage im Juli, bei einer annähernd constanten Temperatur von 19° C, in 12 Tagesstunden, für das eine Blatt mit 15, das andere 15,2 ccm. Ein gleich grosses Gefäss wie diejenigen, in welchen die Blätter standen, verlor gleichzeitig durch freie Verdunstung 2 ccm Wasser. Das Internodium, welches das erste Blatt trug, war 5,5 cm, dasjenige, welchem das andere angehörte, 10,5 cm hoch. Nach den Angaben von v. Höhnel bleibt für ein entfaltetes Blatt von Zea Mays während der ganzen Lebenszeit die Transpirationsgrösse annähernd gleich [1]). Dasselbe zeigt

1) Vergl. die Tabelle in v. Höhnel's: Ueber den Gang des Wassergehaltes und der Transpiration bei der Entwicklung des

auch unser Versuch, in welchem zwei verschieden alte, doch genau gleich grosse Blätter zur Verwendung kamen. Wasserbahnen von der Weite der Vasalprimanen würden somit für die Transpirationsbedürfnisse des zugehörigen Blattes, trotz dessen bedeutender Grösse, bei Zea Mays dauernd genügen können, und wenn somit nach Beseitigung der Vasalprimanen so wesentlich weitere Bahnen im fertigen Internodium ausgebildet werden, so erwachsen daraus, wie dies auch andere Gründe schon nahe legten, vor Allem Vortheile durch die Möglichkeit der Wasseraufspeicherung.

Die an der Peripherie des unfertigen Internodiums befindlichen, reducirten Gefässbündel stehen in ihrer Entwicklung den inneren Bündeln etwas nach. Das hat einfach seinen Grund darin, dass sie Blättern angehören, die noch gar nicht entfaltet sind. Diejenigen Gefässbündel der Peripherie hingegen, welche bereits fertige Gefässe besitzen, sind peripherisch verlaufende Stränge der nächst höheren Blätter. In denjenigen peripherischen Gefässbündeln, welche die unteren Enden aus dem Innern kommender Stränge repräsentiren, werden Gefässe zum Theil erst mit vollendeter Streckung des Internodiums fertiggestellt, daher es kommen kann, dass solche Gefässbündel überhaupt ohne Vasalprimanen sind.

Im Gegensatz zu fertigen Stengelgliedern führt ein so junges Internodium, wie das eben untersuchte, Stärkekörner im Grundgewebe. Diese Stärkekörner sind vornehmlich um die Zellkerne angesammelt.

Das nächst höhere Internodium, an der hier in besondere Berücksichtigung genommenen kräftigen Pflanze, war nur 1 cm hoch, sein zugehöriges Blatt mass bis 8 cm Breite, ohne Scheide, 1 m Länge. Die Scheide war erst 4 cm hoch; die Basis der Lamina auch noch weich und im Wachsthum begriffen. Im Querschnitt der inneren Gefässbündel traten dieselben Tracheïden hervor, wie im vorausgehenden Internodium, die innersten der Reihen noch unfertig. Der Intercellulargang wurde nur eben angelegt; die Bildung des bleibenden Siebtheils aus dem Procambialstreifen hatte kaum begonnen. Der Stärkegehalt des Grundgewebes zeigte sich noch grösser, wie er hier denn auch sein Maximum erreichte.

Blattes, in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd. I, Heft 4, Sep.-Abdr. p. 8.

Das noch höher gelegene Internodium mass nur 8 mm Höhe, trug aber ein Blatt von 80 cm Länge, mit einer 2 cm hohen Scheide. Die nämlichen Tracheïden, wie in den nächst tieferen Internodien, waren auch hier ausgebildet. Der Intercellulargang fehlte noch vollständig, die Bildung von Elementen des bleibenden Siebtheils aus dem Procambium hatte nicht begonnen; nur die Cribralprimanen standen in Thätigkeit.

Weiter folgte ein 4 mm hohes Internodium mit einem immer noch 67 cm langen Blatte, das eine 1,2 cm hohe Scheide aufzuweisen hatte. Dieses Blatt war erst im oberen Theile frei entfaltet. Nur die ersten Tracheïden der medianen Reihen, meist je zwei an der Zahl, zeigten sich in einem Theile seiner Gefässbündel ausgebildet.

Das Blatt des nun folgenden Internodiums war noch zusammengerollt.

Unter dem 2 cm hohen, das oberste ausgewachsene Blatt tragenden Internodium, das den Ausgangspunkt dieser Betrachtung bildete, war ein 5 cm hohes, mit einem (ohne Scheide) 1,1 m langen Blatte versehenes Internodium vorhanden. Auch in diesem Internodium erwies sich nur die mediane Reihe der Tracheïden als fertig, die seitlichen Gefässe waren erst in Bildung begriffen. Alles übrige Gewebe des Bündels und der Scheide zeigte noch unverdickte und unverholzte Wände. Die Bildung des Siebtheils aus dem Procambium war auch noch nicht vollendet. Die Stärkekörner in dem Grundgewebe hatten an Zahl und Grösse abgenommen.

Nunmehr folgte tiefer ein 14 cm hohes Internodium, mit einem 1,20 m langen Blatte, dessen Scheide 22 cm mass. Der Querschnitt in halber Höhe dieses Internodiums zeigte die Gefässbündel in der Anlage fertig gestellt, doch in den grossen, seitlichen Gefässen noch Zellkerne, auch sämmtliche zwischen diesen Gefässen gelegenen Zellen noch mit lebendem Inhalt. Der Intercellulargang hatte die volle Grösse erreicht; die äussersten Cribralprimanen waren schon zerdrückt. Die Scheidenelemente zeigten nur geringe Verdickung. Die Stärke war aus dem Grundgewebe verschwunden, ausgenommen in der englumigeren, unmittelbar an die Gefässbündelscheiden anschliessenden Zellschicht.

Das nächst tiefere Internodium mass 22 cm, sein Blatt 1,2 m, die Scheide zu demselben 24 cm. Hier waren bereits

alle Gefässe und Tracheïden ausgebildet, und zeigten sich die Scheidenelemente wesentlich dicker und an der Aussen- und Innenkante der Gefässbündel verholzt. Stärke war an keiner Stelle mehr nachzuweisen.

Das nun folgende Internodium zeigte 21 cm Höhe; das vorletzte 15 cm; das unterste 6 cm.

In dem 21 cm hohen Internodium war die Verdickung der Scheidenelemente bereits vollendet, auch die Verholzung desselben zum Theil schon erfolgt.

Die Längsschnitte, die ich von den aufeinander folgenden Internodien ausgeführt habe, wurden in einer 5 % Zuckerlösung, der 1,5 % Gelatine zugesetzt war, untersucht. Ich wollte mir gleichzeitig ein Urtheil über Vertheilung und Stärke der Protoplasmaströmung innerhalb der einzelnen Elemente bilden und sehen, ob sich diese Strömung auf bestimmte Gewebe vertheilt zeige. Es stellte sich heraus, dass die Protoplasmaströmung erst in Zellen bestimmter Grösse, die ein mit Zellsaft erfülltes Lumen auszubilden beginnen, auftritt. Das 5 cm lange Internodium war das erste, in dem sich Protoplasmaströmung, und zwar zunächst in den noch ganz jungen Siebröhrengliedern, constatiren liess. Diese Siebröhrenglieder zeigten sich von einem dichten Protoplasmanetze erfüllt und hatten einen grossen Zellkern aufzuweisen. In dem Plasmanetz herrschte lebhafte Circulation. Weit schwächer war die Bewegung in den Geleitzellen. Sehr kräftig wiederum in den die grossen Gefässe bildenden, mit reichem Plasmanetz versehenen Zellen. Nur sehr schwache Bewegung herrschte in den die Gefässe und den Intercellulargang umgebenden Zellen des Vasalparenchyms und der Scheide. In dem weitlumigeren Grundgewebe war weder hier, noch in tieferen Internodien Plasmaströmung nachzuweisen.

In dem 14 cm hohen Internodium hatten die Siebröhren ihre Zellkerne bereits eingebüsst und ihr Protoplasma war auf einen dünnen Wandbeleg reducirt. In solchen fertigen Siebröhren habe ich weder hier noch an anderen Orten Protoplasmaströmung nachweisen können, und die älteren Angaben über eine solche Strömung müssen sich somit auf sehr junge Siebröhrenglieder beziehen, oder, was mir viel wahrscheinlicher erscheint, auf einer Verwechslung mit den Geleitzellen beruhen. Oft lässt es sich in der That nur durch eingehende Unter-

suchung sicherstellen', dass die Strömung einer anliegenden Geleitzelle und nicht der Siebröhre angehört. Hingegen tritt in allen Siebröhren, welche gelitten haben, alsbald Molecularbewegung der Körnchen in der Nähe der Siebplatten auf. In dem 14 cm hohen Internodium war die Plasmaströmung in den Geleitzellen sehr lebhaft und zwar jetzt ausgeprägte Rotation. Die Strömung erreichte ihre volle Höhe erst, nachdem die Präparate etwa eine Stunde lang in der Zuckerlösung verweilten. Es war lebhafte Rotation ebenfalls in den Vasalparenchymzellen um den Intercellulargang zu constatiren, so auch, doch mehr Circulation, an der Grenze zwischen Gefässtheil und Siebtheil, Rotation auch in den Elementen der Scheide.

Sehr lebhaft war die Rotation in den Geleitzellen und in dem Vasalparenchym um den Intercellulargang, in dem 22 cm hohen Internodium. Schwache Circulation liess sich feststellen auch in den netzförmig verdickten, die grossen Gefässe umgebenden Vasalparenchymzellen.

Im dem 21 cm hohen, drittletzten Internodium hatte die Lebhaftigkeit der Strömung in allen den in Betracht kommenden Elementen des Gefässbündels wesentlich abgenommen. In dem vorletzten Internodium war sie noch schwächer, und nur noch äusserst schwach in dem untersten Internodium.

Aeusserst schwach werden die Plasmaströmungen in allen Internodien, sobald solche zu altern beginnen, immerhin liess sich die Strömung in einzelnen Elementen des Gefäss- und Siebtheils bis zum beginnenden Absterben der Pflanze, Ende October, beobachten.

Die Pflanze starb ab, ohne Callusplatten in den Siebröhren auszubilden. Die Geleitzellen, sowie alle diejenigen Elemente der Gefässbündel, welche wir im ausgewachsenen Internodium am Leben fanden, blieben auch gleich lang lebendig.

Wie aus obiger Schilderung folgt, ist die Protoplasmaströmung besonders kräftig in den Leitungsbahnen der Assimilate zu beobachten. Eine Ausnahme hiervon machen nur die Siebröhren, in welchen ich auch in früheren Objecten vergeblich nach Protoplasmaströmung gesucht hatte, sobald der Zellkern aufgelöst worden war. Die Beobachtung, dass alle die übrigen Leitungsbahnen zum Theil lebhafte Protoplasmaströmung zeigen, könnte verleiten, diese Erscheinung im Sinne von H. de Vries zu verwerthen, der den Transport der organischen Bau-

stoffe in der Pflanze vorwiegend durch die Rotation und die Circulation des Protoplasma vermitteln lässt[1]). Der Umstand, dass die Siebröhren eine Protoplasmaströmung nicht zeigen, konnte darauf zurückgeführt werden, dass in denselben der Transport durch Druckdifferenzen erfolge, eine Protoplasmaströmung für denselben also nicht erforderlich sei. Doch zu der Annahme von de Vries passt es wenig, was ich in Uebereinstimmung mit früheren Beobachtern finden musste, dass die Protoplasmaströmung in den Präparaten sich nach einiger Zeit erst einstellt und längere Zeit braucht, um ihren Höhepunkt zu erreichen. Aus einer eben publicirten Abhandlung von Ida A. Keller[2]) geht auch hervor, dass das Protoplasma, welches man in den Präparaten in Strömung sieht, in der unverletzten Pflanze vielfach in Ruhe oder doch nur in unmerklicher Bewegung begriffen sein dürfte, und erst der Präparationsreiz eine merkliche Bewegung desselben veranlasse. Meine hier mitgetheilten Beobachtungen dürften somit auch für Zea Mays nur diejenigen Zellenzüge angezeigt haben, in welchen in Folge des Präparationsreizes merkliche Protoplasmaströmungen ausgelöst werden. — Doch stellt sich zugleich heraus, dass diese Elemente hier in der That den Leitungsbahnen der Assimilate angehören, und weiter auch, dass dieselben je nach ihrem Alter die Erscheinung in verschieden hohem Grade, bis zu schliesslichem Erlöschen zeigen.

Auch Bambusa vulgaris hat, trotzdem sie bis zu einer Höhe von 20 m emporwachsen kann, nicht anders gebaute und auch nicht anders verbundene Gefässbündel wie Zea Mays aufzuweisen. Auffallend wird in den Gefässbündeln von Bambusa nur die grosse Weite der Siebröhren und die starke Einsenkung des Siebtheils zwischen die beiden grossen seitlichen Gefässe. Diese Einrichtungen haben mit der bedeutenden Höhe, welche diese Pflanze erreicht, aber nichts zu schaffen und kehren beispielsweise ganz ebenso bei Phragmites communis wieder. Die

---

1) Ueber die Bedeutung der Circulation und der Rotation des Protoplasmas für den Stofftransport in der Pflanze, Bot. Ztg., 1885, Sp. 1.

2) Ueber Protoplasmaströmung im Pflanzenreiche, Inaug.-Diss., Zürich 1890. Vergl. auch die Bemerkungen von A. Fischer im Referat der Bot. Ztg., 1890, Sp. 450.

seitliche Abschliessung der beiden grossen Gefässe gegen das Grundgewebe durch langgestreckte, stark verdickte Sklerenchymfasern wird bei Bambusa besonders auffällig. Die Gefässwandung ist nach diesen sklerenchymatischen Elementen hin ganz glatt, ohne alle Poren. Nach dem Innern des Gefässbündels zu werden die nämlichen Gefässe hingegen von ganz ebensolchen rechteckigen, abgeflachten, netzförmig verdickten Vasalparenchymzellen wie bei Zea umgrenzt und hängen mit diesen Parenchymzellen auch durch einseitig behöfte Tüpfel zusammen. Ebensolche Sklerenchymfasern, wie an den äusseren Flanken der Gefässe, schliessen auch den Intercellulargang vom Grundgewebe, am Innenrande des Gefässbündels, ab. Auch dort führen keine Poren aus den Sklerenchymfasern in den Intercellulargang hinein, so dass für den Abschluss der Wasserbahnen nach aussen in vollendeter Weise gesorgt ist. Die Zahl der Siebröhren in den Siebtheilen von Bambusa ist relativ gering, was mit deren bedeutender Weite wohl zusammenhängt. Jeder Siebröhre fallen meist zwei, auch wohl drei, nebeneinander liegende, englumige Geleitzellen zu. Siebröhren und Geleitzellen bilden, wie bei Zea, fortlaufende Längsreihen; sie stossen mit ihren Enden auf einander. Leucoplasten sind in den Siebröhren unschwer nachzuweisen, so auch in geringer Anzahl äusserst kleine Stärkekörner. Der Siebtheil ist auch hier von den grossen Gefässen, meist durch zwei, ja selbst stellenweise durch drei Zellschichten getrennt. Die an den Siebtheil unmittelbar grenzende ist, wie bei Zea, unverholzt. Es können übrigens auch einzelne Geleitzellen oder Siebröhren direct an die netzartig verdickten vasalparenchymatischen Belegzellen der Gefässe stossen. Unverholzte flache Grundgewebselemente trennen auch hier den Siebtheil an den Flanken von den verholzten Scheidenelementen, und nur die Cribralprimanen grenzen unmittelbar an das verholzte Gewebe. Im Gegensatz zu Zea Mays ist das Grundgewebe bei Bambusa mit grossen Stärkekörnern erfüllt. Dadurch werden die Durchlassstellen sehr auffällig, die an der Grenze zwischen Gefäss- und Siebtheil in die Scheide einspringen.

Die Achselknospen-Bündel durchziehen bei Bambusa den Knoten nicht wie bei Zea in horizontaler, sondern in stark geneigter Richtung, von der Achselknospe gegen die entgegengesetzte Seite des Knotens hin sich senkend. Ihr Verlauf ist

auch hier ein geschlängelter, doch weniger complicirt als bei Zea, so dass Längsschnitte durch den Knoten, welche die Mediane der Achselknospe in sich fassen, diese Bündel vorwiegend in Längsansicht, rechtwinklig hierzu orientirte Schnitte im Querschnitt zeigen. Alle diese Achselknospenbündel schlagen die Abwärtsrichtung ein, bevor sie sich einem Blattspurstrange anlegen, und gehen in denselben über. Zu dieser typischen Art des Anschlusses passt es auch sehr gut, dass diese Achselknospenbündel von Bambusa collateral und nicht amphivasal gebaut sind.

Um die höchste Leistungsfähigkeit der monocotylen Gefässbündel kennen zu lernen, wollen wir uns jetzt an die Palmen wenden.

Aus dieser Familie untersuchte ich zunächst Chamaedorea elatior, eine Palme, die zwar nur 3 bis 4 m Höhe erreicht, doch, wie der Vergleich lehrte, grosse Uebereinstimmung im Bau mit anderen höheren Palmen zeigt. Von den Gefässbündeln der untersuchten Gramineen weichen diejenigen der Chamaedorea kaum wesentlich ab. Ein Gefässbündel aus dem Innern eines ausgewachsenen Internodiums zeigt im Gefässtheile am Innenrande desorganisirte Vasalprimanen. Ein Intercellulargang fehlt hingegen. Von der Gefässbündelscheide werden die Vasalprimanen durch englumigeres Vasalparenchym getrennt. Nach aussen folgen enggewundene Schraubentracheïden, respective Schraubengefässe, durch Vasalparenchym getrennt, sich auch zum Theil berührend. Dann ein queres Band aus Vasalparenchym und an den beiden Rändern dieses Bandes zwei, seltener mehr, grosse quere getüpfelte Gefässe. Diese werden im ganzen Umfang von netzförmig verdicktem Vasalparenchym bekleidet, und diese Verdickungsart setzt sich zum Theil auch auf die Elemente des zwischenliegenden Vasalparenchymbandes fort. In älteren Internodien erscheinen die sämmtlichen Elemente des Gefässtheils verholzt. — Der Siebtheil besteht, wie bei den Gramineen, nur aus Siebröhren und Geleitzellen und zwar in unregelmässiger Vertheilung. Die Zahl der auf eine Siebröhre kommenden Geleitzellen ist nicht constant und beträgt meist mehr als eine. Siebröhren und Geleitzellen bilden im Längsschnitt fortlaufende Reihen. — Im Gegensatz zu den Gramineen stösst der Siebtheil auch an seinen

Flanken hier an verholzte Elemente. Ebenso grenzt er unmittelbar an die verholzten Vasalparenchymzellen des Gefässtheils. Ja, es kommt, wenn auch selten, vor, dass eine Siebröhre oder Geleitzelle direct ein grosses Gefäss berührt. Dann stellt sich aber, wie aus der Fig. 39, Taf. V, zu ersehen, dieselbe Erscheinung ein, wie wir sie in dünnsten Gefässbündeln der Gramineen-Blattspreite, wenn ein Gefäss in Contact mit dem Siebtheil kommt, beobachten konnten: die Gefässwandung wird an der betreffenden Stelle gleichmässig verdickt. (In unserer Figur ist die an das Gefäss grenzende Siebröhre mit *c* bezeichnet, *p* bedeutet Vasalparenchym, *vg* die Gefässbündelscheide.) Die Gefässbündelscheide wird von Sklerenchymfasern gebildet. Die an die Flanken des Siebtheils stossenden Elemente sind hingegen gestreckt parenchymatisch, wenn auch verholzt. An den Gefässbündeln im Innern des Internodiums hören die Sklerenchymfasern überhaupt an den Flanken des Gefässbündels, in der Nähe der grossen Gefässe auf. Weiterhin ist die Gefässbündelscheide nicht scharf gegen das Vasalparenchym einerseits, das umgebende Grundgewebe des Centralcylinders andererseits, abgesetzt. Sie besteht aus parenchymatischen Elementen, die nur etwas enger und gestreckter als diejenigen des übrigen Grundgewebes sind, ausserdem im Gegensatz zu jenen in älteren Internodien verholzen. Dieser Gegensatz fällt für Chamaedorea Arenbergiana hinweg, in welcher das ganze Grundgewebe älterer Internodien, auch in der Mitte des Stammes, stark verholzt ist. Die Scheidenelemente sind in allen Fällen lückenlos mit einander verbunden, während das übrige Grundgewebe lufterfüllte Intercellularen führt. So wird dann auch bei Chamaedoreen für einen luftdichten Abschluss des Gefässbündels durch die, wenn auch wenig abgesetzte, Gefässbündelscheide gesorgt. Der Austausch von Wasser und Nährstoffen zwischen dem Gefässbündel und dem Grundgewebe mag aber leicht von Statten gehen, denn die Elemente der Scheide sind stark porös und zeigen Poren, auch wo sie an das die grossen Gefässe umgebende Vasalparenchym stossen. Die starke Porosität der Scheiden- und Grundgewebselemente fällt bei Chamaedorea Arenbergiana weit mehr als bei C. elatior auf, weil diese Elemente bei ersterer viel stärker verdickt werden. Die parenchymatischen Elemente der Gefässbündelscheide, wie des übrigen Grundgewebes, führen

reichlich Stärke und stechen daher an Querschnitten nach Jodbehandlung die stärkefreien Gefässbündel sammt ihrem Sklerenchymbelege scharf gegen die Umgebung ab.

Den Sklerenchymbelegen folgen nach aussen aus kurzen Elementen bestehende Zellenzüge [1]), die den Sklerenchymfasern flach anliegen, von ihnen hinweg und an den Seiten vorgewölbt sind. Bei Flächenbetrachtung erscheinen diese Zellenzüge daher perlschnurförmig. Die Querwände haben oft bedeutende Dicke, so dass die Lumina aufeinander folgender Zellen wie auseinander geschoben erscheinen. Die der Sklerenchymfaser zugekehrte Wand ist auch meist stärker als die nach aussen gekehrte verdickt. In jeder Zelle liegt ein plan-convexer, linsenförmiger, ziemlich stark lichtbrechender Körper, der sich bei Behandlung mit Reagentien und beim Glühen als Kieselkörper erweist. Nach der Sklerenchymfaser-Seite kehrt er seine plane, nach aussen seine convexe, mit warzenförmigen Vorsprüngen bedeckte Seite. Ein äusserst reducirter Wandbeleg und Zellkern kommt diesen Zellen zu, lässt sich aber nur mit Mühe nachweisen. Aus den Sklerenchymfasern führen Poren nach diesen Zellen; manche Pore endet aber blind in der Querwand, was sich daraus erklärt, dass das Lumen der kieselhaltigen Zellen an jener Stelle durch nachträgliche Verdickung obliterirte. An die kieselhaltigen Zellenzüge stossen von aussen Intercellularen, was mit der Vorwölbung dieser Zellen zusammenhängt, die nothwendig eine stellenweise Lostrennung von den angrenzenden Grundgewebszellen bedingt. Der Intercellulargang ist demgemäss etwas weiter, wenn die kieselhaltige Zellreihe auf die Scheidewand zweier Grundgewebszellen stösst, enger, wenn diese Zellreihe auf die Fläche einer Grundgewebszelle trifft. Im ersten Fall ist es ein Intercellulargang, der vor der kieselhaltigen Zellreihe liegt, im zweiten Fall sind es zwei Intercellularen an den Seiten dieser Zellreihe. Ich würde auf diese untergeordneten Verhältnisse hier nicht weiter eingehen, hätte Kohl nicht neuerdings versucht, die Kieselkörper in eine functionelle Beziehung zu den Intercellularen zu

1) Die Litteratur hierzu vergl. bei de Bary, Vergl. Anat. der Vegetationsorgane, p. 135, und neuerdings bei Kohl, Anatomisch-physiologische Untersuchung der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze, 1889, p. 267 ff.

bringen [1]). — Die Lage, welche hier die Kieselkörper zu den Sklerenchymfasern einnehmen, und die Art ihrer Ablagerung, die Tüpfelverbindung der kieselhaltigen Zellen mit den Sklerenchymfasern, alles das stimmt vollständig zu den Beziehungen, welche sonst calciumoxalathaltige Zellen zu den Sklerenchymfasern zeigen. Die Sklerenchymfasern lagern hier augenscheinlich den Kiesel einer kieselhaltigen Lösung, zu deren Aufnahme sie bestimmt sind, weiterhin in fester Form in den hierzu gebildeten angrenzenden Zellen ab; in ihrem Innern selbst deponiren sie Zellhaut. Es lässt sich wohl annehmen, dass die Kieselsäure, in den dieselbe ablagernden Pflanzen, zunächst als Vehikel dient, ähnlich dem Kalke, bestimmt, andere Elemente, wohl Alkalien [2]), in die Pflanzen einzuführen, und dass sie dann auch, ähnlich dem Kalke, den Sklerenchymfasern vielfach übermittelt wird, um aus dem Stoffwechsel beseitigt zu werden. Es kann die Kieselsäure auch in die Membranen der verschiedensten Gewebe aufgenommen und so mechanischen [3]) oder sonstigen [4]) Functionen dienstbar gemacht werden. Dass aus den Kieselkörpern, wie sie hier deponirt werden, ein Nutzen der Pflanze erwachse, ist wohl unwahrscheinlich. — Die Bildung der Kieselkörper bei Chamaedorea beginnt in Gestalt isolirter, in einer Vacuole eingeschlossener Körner, zugleich mit der ersten Verdickung der Sklerenchymfasern. Sie dauert fort, während die Verdickung der Sklerenchymfasern, welche Tüpfel nach jenen Zellen aussparen, fortschreitet und hört mit Vollendung der Verdickung der Sklerenchymfasern auf. Dass innerhalb der kieselhaltigen Zellen selbst die Leitung der kieselsäurehaltigen Lösung nicht stattfinden kann, lehrt die alsbald erfolgende starke Verdickung der Querwände, ausserdem die Thatsache, dass die Zellenzüge

1) l. c. p. 298, 308. Kohl meint, die „Stegmata" oder Deckelzellen, wie man diese kieselkörperhaltigen Zellen überflüssiger Weise genannt hat, könnten Ventileinrichtungen sein, die Kieselkörper Ventile darstellen. Diese Kieselkörper würden alsdann zeitweise Unterbrechung des Wasserstromes zwischen Intercellularen und Bastfasern bewirken!

2) Vergl. auch Kohl l. c. p. 302.

3) Bei Zea Mays wird die Kieselsäure in die Membranen der Zellen, vornehmlich der Epidermis aufgenommen, den krümmungsfähig verbleibenden Stellen fehlt alle Kieselsäure.

4) Vergl. hierzu Stahl, Pflanzen und Schnecken, p. 72, Kohl l. c. p. 303 ff.

wohl öfters eine beträchtliche Höhe erlangen, aber doch früher oder später blind endigen. Die meisten Zellenzüge bleiben überhaupt kurz.

Nach der Oberfläche des Stammes von Chamaedorea zu treten die Gefässbündel gedrängter auf, zugleich erfahren sie eine Reduction in der Zahl ihrer Elemente. Zunächst schwinden die Schraubentracheïden und Gefässe aus der Innenseite des Gefässtheils, dann rücken die grossen seitlichen Gefässe zusammen und kommen bald in Berührung. Schliesslich ist vom Gefässtheil meistens nur noch ein grosses quer getüpfeltes Gefäss, sammt den dasselbe umgebenden Vasalparenchymzellen vorhanden. Die Weite dieses Gefässes wird hierauf noch reducirt. — Die Abnahme des Siebtheils hält mit derjenigen des Gefässtheils gleichen Schritt. Während dieser Reduction des Gefässbündels gewinnt umgekehrt dessen Scheide an Mächtigkeit. Zunächst wird der Sklerenchymbeleg der Aussenseite verstärkt und erlangt alsbald eine grosse Mächtigkeit. Gleichzeitig umgreifen die Sklerenchymfasern aber auch das grosse Gefässbündel und schliessen es zuletzt allseitig ein. Die mächtigen Scheiden der peripherischen Gefässbündel sind nur noch durch schmale Streifen stärkehaltigen Grundgewebes von einander getrennt. Diese Gefässbündel reichen übrigens nicht bis an die Oberfläche des Stammes, werden vielmehr von derselben durch eine schmale Zone chlorophyllhaltigen Gewebes, die als Rinde zu bezeichnen ist, getrennt (Taf. V, Fig. 40). Etwa in halber Dicke dieser Zone laufen dünne Stränge, die nur aus Sklerenchymfasern bestehen; dazwischen, je nach Umständen in grösserer oder geringerer Anzahl, einzelne, in der Figur entsprechend markirte, sehr reducirte Gefässbündel. Auch die Sklerenchymfaserstränge der Rinde sind von kieselhaltigen Zellenzügen begleitet, und dies mag ihr Vorhandensein in der Rinde vornehmlich motiviren, während ihre mechanische Bedeutung sehr gering im Verhältniss zu derjenigen der mächtigen Gefässbündelbelege in der Peripherie des Centralcylinders sein dürfte. Die Sklerenchymfaserstränge der Rinde verlieren sich nicht, wie es Falkenberg[1]) angiebt, im Grundgewebe, sie bilden vielmehr ein zusammenhängendes System. Die Ober-

---

1) Vergl. Unters. über den Bau der Vegetationsorgane der Monocotyledonen, p. 100.

fläche des Stammes nimmt endlich eine sehr stark verdickte Epidermis ein.

Eine Blattfieder, richtiger ein Blattabschnitt, von Chamaedorea elatior wird von einem Mittelnerv und einer Anzahl kräftiger Seitennerven durchzogen, die, von der Basis aus schwach divergirend, gegen die Spitze der Fieder sich einander wieder nähern. Zwischen diesen stärkeren Nerven laufen gleich gerichtete, weit schwächere, die am Grunde der Fieder mit den stärkeren verschmelzen. Nach oben zu erlöschen alle Nerven früher oder später im Gewebe der Fieder. Die stärksten allein erreichen den Scheitel. Auch letztere erfahren aber eine Dickenabnahme und andere, noch zu schildernde Veränderungen während ihres Verlaufs. Am schnellsten erlöschen diejenigen Bündel, die schon am Grunde der Fieder schwach sind.

Der Querschnitt in halber Länge der Fieder zeigt uns den beiderseits vorspringenden Mittelnerv eingenommen von einem ziemlich kräftigen, normal orientirten, unteren und einem schwachen, entgegengesetzt orientirten, oberen Gefässbündel. Beide werden gemeinsam von einer Scheide aus Sklerenchymfasern umgeben, die oben und unten stark entwickelt ist, an den Seiten aber in wenige Schichten ausläuft. Zwischen beiden Bündeln wird der Raum von ziemlich englumigem Gewebe eingenommen, welches das grössere Gefässbündel von innen, das kleinere vollständig umfasst und auf Längsschnitten sich als von gestrecktem Parenchym gebildet erweist. Dieses ganze Gewebe muss als dem Gewebe des Centralcylinders im Stengel entsprechend gelten und geht auch an den Seiten in die Sklerenchymfasern über. In solches Gewebe sind somit die beiden Gefässbündel des Mittelnervs vollständig eingeschlossen. Die stärkeren Seitennerven werden von einfachen, normal orientirten Gefässbündeln gebildet, die von Sklerenchymfasern entweder vollständig umgeben sind oder parenchymatische Durchlassstellen an den Flanken besitzen. Der Gefässtheil wird aber auch in diesen Bündeln von den Sklerenchymfasern durch eine Schicht weitlumigerer, parenchymatischer Grundgewebselemente gesondert. Diese Elemente hängen mit denjenigen der Durchlassstellen zusammen. Am Siebtheil ist die innerste Schicht des Grundgewebparenchyms dünnwandiger, doch englumig. — In dünnen Gefässbündeln wird der Gefässtheil schliesslich auf eine oder auf einige Tracheïden, der Siebtheil auf

einige Siebröhren und Geleitzellen reducirt. Die Tracheïden sind vom Siebtheil durch einige Vasalparenchymzellen getrennt oder berühren denselben unmittelbar, wo die Tracheïden alsdann, wie bei Zea, eine gleichmässige Verdickung an der dem Siebtheil zugekehrten Seite aufweisen. Siebröhren und Geleitzellen sind an ihrer Grösse nicht mehr, wohl aber an ihrem Inhalt zu unterscheiden. Das Bündel wird umgeben von einer Schicht dünnwandiger, chlorophyllfreier Scheidenelemente, die an der Gefäss- und Siebtheilseite gestützt ist von einer Schicht stark verdickter Sklerenchymfasern. Diese Sklerenchymfaserschicht fehlt somit an den beiden Flanken des Gefässbündels, so dass dort die dünnwandigen Elemente der Scheide direct an das Chlorophyllgewebe des Blattes anschliessen können. Unsere Bilder 41 und 42, Taf. V, sollen uns solche Bündelenden vorführen. Der Siebtheil hört früher als der Gefässtheil auf; letzterer setzt dann allein, öfters auf eine einzige Tracheïde reducirt, das Gefässbündel fort. Endlich schwinden auch die Tracheïden, und man sieht nur noch eine oder einige der parenchymatischen Grundgewebselemente in Begleitung einiger Sklerenchymfasern in der Richtung des Bündels fortlaufen. Schliesslich läuft der Strang in Sklerenchymfasern aus. — Quere Verbindungsstränge sind bei Chamaedorea elatior nicht vorhanden. Die Zellenzüge der Durchlassstellen in der Gefässbündelscheide, so auch die anderen parenchymatischen Scheidenelemente, die von den Sklerenchymfasern umschlossen werden, dienen der Leitung von Kohlehydraten, was sich direct mit Fehling'scher Lösung sicherstellen lässt. Diese Scheidenelemente bilden demgemäss geschlossen fortlaufende Zellreihen, während die Elemente des an die Durchlassstellen grenzenden chlorophyllhaltigen Blattgewebes, welche in der Längsrichtung durch Intercellularen mehr oder weniger getrennt sich zeigen, für ausgiebige Längsleitung untauglich wären. Das chlorophyllhaltige Blattgewebe kann somit den Zellenzügen der Durchlassstellen nur die Assimilate zuführen, welche weiter befördert werden sollen, andererseits durch Vermittlung dieser Zellenzüge Wasser aus dem Gefässtheil des Bündels erhalten. Diese Aufnahme und Abgabe kann an den kleinen Bündeln ziemlich gleichmässig in der ganzen Länge der Blattspreite erfolgen, da diese Bündel überall offene Durchlassstellen aufweisen. An einem Theile der stärkeren Gefässbündel sind hingegen, in jedem Blatt-

abschnitt, die leitenden Scheiden durch Sklerenchymfasern abgeschlossen. Man kann constatiren, dass die Zahl der nicht abgeschlossenen, mit offenen Durchlassstellen versehenen Gefässbündel in den mittleren Theilen der Spreite sich für einen gegebenen Querschnitt annähernd gleich bleibt, nach der Spitze der Spreite aber zu, nach der Basis derselben abnimmt. Den Sklerenchymfasern der Scheide fällt also auch hier ausser der mechanischen Function die Aufgabe zu, die Leitungsbahnen abzuschliessen. Am längsten bleibt der Mediannerv abgeschlossen, er öffnet sich erst in den obersten Theilen des Blattes, ihm liegt es somit ob, jene Gegend vor allem zu versorgen, respective auszubeuten. Die in die parenchymatische Scheide aufgenommenen Assimilate werden in derselben abwärts geleitet, auch nachdem dieselbe von Sklerenchymfasern völlig umschlossen wurde, und hierin liegt denn auch die Bedeutung der parenchymatischen Schicht von Grundgewebszellen, die auch in abgeschlossenen Gefässbündeln die Sklerenchymscheide von dem Gefässtheile der Bündel trennt. Im unteren Theile der Fieder werden die Sklerenchymscheiden auch an den Flanken mancher Gefässbündel mehrschichtig, während sie sich an jenen Bündelflächen sonst nur einschichtig zeigen. Um ein concretes Beispiel für das Vorausgeschickte anzuführen, so zählte ich in dem unteren Theile einer Blattfieder sieben stärkere und auch einige schwächere abgeschlossene Gefässbündel. In dem mittleren Theile derselben Fieder waren fünf stärkere Bündel abgeschlossen, die kleineren schon alle offen. In vier Centimeter Entfernung von der Blattspitze war nur das eine Gefässbündel des auf dieses reducirten Mittelnervs abgeschlossen. In zwei Centimeter Entfernung von der Spitze zeigte sich auch das Medianbündel offen. — Auch im Blatte werden die Sklerenchymfasern von Kieselzellen begleitet, in dem chlorophyllhaltigen Mesophyll finden sich ausserdem Raphidenbündel ein. — Am Grunde der Blattfieder haben schliesslich auch die kleinen Gefässbündel vollen Sklerenchymabschluss erhalten, und man constatirt ungezwungen, dass der Uebertritt leitender Elemente aus der Blattfieder in den gemeinsamen Blattstiel nur in Gestalt von Gefässbündeln und Gefässbündelscheiden erfolgt. Denn der gemeinsame Blattstiel ist an den Insertionsstellen der Blattfiedern mit einem vollständig geschlossenen Sklerenchymmantel versehen, und diesen Mantel passiren ausschliesslich nur die Gefässbündel

und die Gefässbündelscheiden der Blattfiedern. Daraus folgt also mit Sicherheit, dass die ganze Leitung der an die Fieder abzugebenden und aus derselben aufzunehmenden Stoffe von den Gefässbündeln und deren Scheiden besorgt werden muss. Dieser leitende Theil repräsentirt aber im Blatte, wie wir früher schon festgestellt haben, Elemente des Centralcylinders des Stammes. Es fällt auf, dass in den untersten Theilen der Blattfieder auch die von den Sklerenchymfasern umschlossenen, parenchymatischen Grundgewebselemente stark verdickt werden. Dieses hindert sie nicht an dem Geschäft der Leitung. Denn thatsächlich behalten sie ihre gestreckt parenchymatische Gestalt bei, und werden die Nachtheile der stärkeren Wandverdickung durch sehr zahlreiche Poren in den Querwänden aufgehoben. Nach Behandlung mit Fehling'scher Lösung ist denn auch der directe Nachweis zu führen, dass im Grunde der Blattfieder reducirtes Kupferoxydul ebenfalls nur in den inneren parenchymatischen Grundgewebselementen sich einfindet. Das übrige Gewebe der Blattfieder passirt den Sklerenchymmantel des gemeinsamen Blattstiels nicht, setzt sich vielmehr in das ausserhalb dieses Mantels befindliche chlorophyllhaltige Gewebe fort. Jenes Gewebe entspricht, wie wir schon wissen, der primären Rinde des Stammes.

Aus dieser ganzen Schilderung, sowie speciell darauf gerichteter Untersuchung, geht hervor, dass bei Chamaedorea, ähnlich wie bei den Gramineen, die Gefässbündelscheiden aus dem Centralcylinder des Stammes durch alle Auszweigungen innerhalb des Blattes sich fortsetzen und bis zuletzt die Gefässbündel umschliessen. Es handelt sich somit auch hier, wie bei Gramineen, bis zuletzt um Stelolemmen. Eine dem Mesophyll zugehörige Scheide wird nicht ausgebildet. Zum Unterschied von Zea bleiben hier auch die dünnwandigen Scheidenelemente an den dünnsten Gefässbündelzweigen von den angrenzenden Mesophyllzellen bis zuletzt geschieden. Bis zuletzt widerstehen die Wände dieser Stelolemmen der Schwefelsäure besser als das angrenzende Blattgewebe.

Aus der Blattscheide, in welche der gemeinsame Blattstiel übergeht, treten zahlreiche Blattspurstränge in den Stamm ein. Ihr Eintritt erfolgt im ganzen Umfang des Stammes; die Tiefe, bis zu welcher sie vordringen, und der Bogen, den sie dabei beschreiben, ist aber für die einzelnen Bündel verschieden. Die Stärke der in der Scheide vertretenen Stränge ist annähernd

gleich; nur die der Aussenfläche nächsten zeichnen sich durch geringere Grösse aus. Das Medianbündel und die, von ihm aus gerechnet, unpaaren Bündel treten zunächst ein, dann folgen die mit jenen alternirenden. So rücken die grösseren Blattspurstränge in zwei Kreisen zwischen die Gefässbündel des Stammes ein. Alsdann gelangen auch die kleineren, entfernteren Bündel in den Stamm; den Schluss machen die Sklerenchymstränge, welche der Aussenfläche der Blattscheide anlagen. Die zuerst eingetretenen Blattspurstränge gelangen allmählich bis in die mittleren Theile des Centralcylinders des Stammes, die im weiten Umkreis nachfolgenden halten sich peripherischer. Die kleinsten Bündel bleiben zunächst in der Rinde und treten erst allmählich, im Verlauf des Internodiums, in die Peripherie des Centralcylinders ein. Tiefer dringen sie in denselben nicht vor. Hierin weicht also meine Angabe von der Naegeli'schen ab, der die sämmtlichen Blattspurstränge in das „Mark" des Stammes eintreten lässt [1]). Meine Figur 40, Taf. V, zeigt die kleinen Bündel vorwiegend noch innerhalb der Rinde, wo sie zwischen den Sklerenchymsträngen vertheilt sind. — Mit beginnendem Eintritt der Blattspurstränge in den Stengelknoten kann man in letzterem die Verschmelzung älterer Blattspurstränge beobachten. Diese Verschmelzung erfolgt in den drei bis vier äussersten Bündelzonen. Der Verschmelzung der Bündel geht entweder die seitliche Vereinigung ihrer Scheiden voraus, oder die Bündel kehren einander die Holztheile zu und gehen zunächst mit diesen in einander über. Oefters sieht man auch ein Bündelende in scharfer radialer oder tangentialer Biegung einem anderen zueilen und sich mit ihm vereinigen. Auf tangentialen, peripherisch geführten Schnitten ist zu constatiren, dass auch die Sklerenchymfaserstränge der Rinde seitliche Vereinigungen eingehen und ein in sich geschlossenes System darstellen. Blind endigen dieselben an keiner Stelle. Sie spalten sich auch vielfach in absteigender Richtung, vorwiegend im Knoten, doch auch während ihres Verlaufs im Internodium. Die der Mitte des Stammes zueilenden Bündel erreichen dieselbe nicht sofort, wie bei Zea, nähern sich ihr vielmehr ganz langsam. Man sieht sie mehrere Internodien lang diese Richtung einhalten und dann erst diejenige nach der Peripherie einschlagen. Die Zahl der Internodien, welche solche

---

1) Beiträge zur wiss. Bot., I. Heft, 1858, p. 129.

Stränge durchlaufen, ist bedeutend, vielfach über zehn. Rascher gelangen die weniger tief in den Centralcylinder eindringenden Blattspurstränge wieder zurück in die peripherische Zone und zum Anschluss an andere Bündel. Die zunächst in der Rinde verbleibenden kleinen Bündel vereinigen sich alsbald nach dem Eintritt in die Peripherie des Centralcylinders mit andern. Wie Naegeli bereits zeigte [1]), ist der Verlauf der inneren Blattspurstränge ein spiraliger, und sie gelangen oft zur Peripherie an der von ihrem Eintritt abgekehrten Seite. — Die Bündel erfahren in ihrem Verlauf, wie bei Zea, eine Vereinfachung. Da die Verschmelzungen der Bündel nur in den peripherischen Bündelzonen erfolgen, so ergiebt sich diese Vereinfachung aus jedem Querschnitt, in welchem man die fortschreitende Reduction der Bündel von innen nach aussen verfolgt. — Die Achselknospenbündel setzen bei Chamaedorea an die ihrer Eintrittsstelle benachbarten Stammbündel an, ohne tiefer in den Knoten vorzudringen. — Von diesem Verlauf der Blattspurstränge bei Chamaedorea hatte Naegeli im Wesentlichen schon eine richtige Schilderung entworfen [2]).

Chamaedorea Schiedeana weicht von Chamaedorea elatior kaum ab. Es muss das hervorgehoben werden, da nach Falkenberg die Blattspurstränge sowohl, als auch die Sklerenchymstränge von Chamaedorea Schiedeana nach unten zu blind endigen sollen. Diese Angaben sind übrigens schon durch de Bary's Schilderungen richtig gestellt worden [3]). Dass sich, wie v. Mohl und Wossidlo angeben [4]), ein Sklerenchymfaserstrang des Stammes im Blattstiel in ein Gefässbündel verwandeln könnte, muss ich für Chamaedorea elatior in Abrede stellen und halte die Möglichkeit einer solchen Umwandlung überhaupt für mehr als unwahrscheinlich.

Durch die Güte meines damals noch lebenden Freundes Eichler ist mir die seltene Gelegenheit geboten worden, den oberen Theil eines frischen Stammes von Cocos flexuosa untersuchen zu können. Dieser Stamm, im Berliner botanischen

1) l. c. p. 130.

2) Vergl. Unters. über den Bau der Vegetationsorgane der Monocotyledonen, 1876, p. 96 ff.

3) Vergl. Anat. der Vegetationsorgane, 1877, p. 272, 276.

4) Vergl. bei de Bary, l. c. p. 276.

Garten erwachsen, musste gefällt werden, da seine Krone die Decke des Palmenhauses erreicht hatte.

Ich nahm zuerst das untere Ende des mir zur Verfügung stehenden Stammstückes in Untersuchung. Dasselbe war 60 cm von der Stammspitze entfernt und hatte einen Durchmesser von 9 cm. Ein Querschnitt nahe der Mitte zeigte Gefässbündel von sehr verschiedener Stärke, wie denn in diesem Falle die Blattspurstränge eine wesentliche Vereinfachung erfahren können, bevor sie in absteigendem Verlauf den Weg nach der Peripherie einschlagen. Die grössten Gefässbündel, die hier vorlagen, hatten an der Innenkante des Gefässtheils einige desorganisirte Vasalprimanen aufzuweisen, dann zahlreiche, mehr oder weniger enge Ring- und Schraubentracheïden, dann Schraubengefässe, alle durch dünnwandiges Vasalparenchym von einander getrennt. Zwei sehr weite, quer getüpfelte Gefässe, eventuell auch durch Gefässgruppen ersetzt, nehmen die Flanken des Bündels ein und sind von netzförmig verdickten Vasalparenchymzellen belegt. Den Zwischenraum nimmt Vasalparenchym ein, zum Theil auch netzförmig verdickt, in grösserer oder geringerer Menge vertreten, je nach der Entfernung der beiden Gefässe oder Gefässgruppen von einander. Die Gefässtracheïden an dem Innenrande der Vasaltheile zeigen so bedeutende Länge, dass ihre Enden auf Längsschnitten nur mit Mühe aufzufinden sind. Die Glieder der Tüpfelgefässe werden durch stark geneigte Scheidewände getrennt, welche von weiten Oeffnungen leiterförmig durchbrochen erscheinen. Die Sprossen dieser Scheidewände sind sehr stark verdickt, die Oeffnungen, die sie umrahmen, etwas behöft. Nur mit quer gestreckten Hoftüpfeln versehene, geschlossene Scheidewände lassen sich eventuell nur an den Verschmelzungsstellen der Gefässbündel in den Tüpfelgefässen auffinden. Wo zwei Tüpfelgefässe aneinander stossen, erlangen die quer gestreckten Tüpfel die Breite der ganzen gemeinsamen Wand. Der beiderseitige Hof der Tüpfel mündet mit stark verengtem Spalt. Eine torusartige Verdickung der Schliesshaut in diesen Tüpfeln ist nur angedeutet. — Der Siebtheil ist breitgezogen. Er besteht aus weiten Siebröhren und einer verhältnissmässig grossen Zahl sehr enger Geleitzellen. Die Siebröhren weisen sehr geneigte Querwände auf und sind relativ stärkereich. Am Aussenrande des Siebtheils war nur eine sehr kleine Gruppe von Cribralprimanen aufzufinden. Eine unver-

holzte Schicht parenchymatischer Elemente trennt den Siebtheil vom Gefässtheil. Die Gefässbündelscheide ist an der Siebtheilseite stark entwickelt, sklerenchymatisch. In dem mir zur Verfügung stehenden Material war erst die innere, dem Siebtheil zugekehrte Zone dieser Gefässbündelscheide verdickt. Auch an die Flanken des Siebtheils stossen hier die Scheidenelemente meist direct an, was sich daraus erklärt, dass bei dem flach gestreckten Siebtheil die parenchymatischen Anschlüsse hinreichend durch die zwischen dem Siebtheil und dem Gefässtheil vorhandene Parenchymschicht gesichert sind. Die Elemente der Gefässbündelscheide am Gefässtheil setzen nicht scharf gegen das verholzte, dünnwandige Vasalparenchym einerseits, das unverholzte umgebende Grundgewebe des Centralcylinders andererseits ab. — Zwischen solchen Gefässbündeln, wie das geschilderte, finden sich andere in allen Graden der Vereinfachung. Die reducirtesten Gefässbündel besitzen im Gefässtheil nur ein einziges, sehr weites, quergetüpfeltes Gefäss, von einem Durchmesser bis 0,16 mm und an dessen Aussenseite, durch Vasalparenchym von ihm getrennt, eine Lage weiter Siebröhren und enger Geleitzellen. — Ausser den Gefässbündeln wird das Innere des Centralcylinders auch von dünnen Sklerenchymfasersträngen durchsetzt, deren Elemente stark verdickt sind. Es begleiten diese Stränge zahlreiche Kieselkörper. Diese Kieselkörper haben auch hier die Gestalt stark biconvexer Linsen und sind an der ganzen Oberfläche mit Warzen bedeckt. Die Zellen, welche diese Körper einschliessen, verhalten sich sonst auch nicht anders als bei Chamaedorea, sind aber stärker auseinandergezogen. Die Sklerenchymbelege der Gefässbündelscheiden sind ohne Kieselkörper-Begleitung, es fehlen an denselben auch die Zellen, die für eine spätere Aufnahme solcher Kieselkörper bestimmt sein könnten. Es liegt hier somit eine Arbeitstheilung zwischen den die Gefässbündel begleitenden und den isolirten Strängen von Sklerenchymfasern vor. — In dem kurzzelligen, stärkeführenden Grundgewebe stösst man von Zeit zu Zeit auf Raphidenbündel.

Nach der Peripherie des Stammes zu verändern sich diese Verhältnisse nur ganz langsam. Es fallen zunächst einzelne Verschmelzungen unter den Gefässbündeln auf, und zwar entweder kleiner Bündel unter einander, oder eines kleinen Bündels mit einem grossen. Je weiter nach aussen, um so grösser wird die Zahl der reducirten Gefässbündel; die nicht reducirten

zwischen denselben stellen aber auf der Wanderung nach der Mitte noch begriffene Blattspurstränge dar. Der Durchmesser der Bündel erfährt schliesslich eine sehr bedeutende Reduction. Das eine grosse Gefäss sinkt auf 0,03 mm, ja selbst 0,021 mm Durchmesser herab. Die Bündel werden immer zahlreicher und drängen sich entsprechend zusammen. Der sklerenchymatische Beleg nimmt an Dicke zu und umfasst dabei immer mehr das Gefässbündel, ohne in den meisten Fällen jedoch vollständig an der Gefässseite zusammenzuschliessen. Dabei zeigte sich in dem mir zur Verfügung stehenden ältesten Stammtheile die Hauptmasse der Sklerenchymfasern immer noch dünnwandig, und nur die den Siebtheil zunächst umfassenden Partieen stärker verdickt. Letzteres Verhalten veränderte sich erst ziemlich plötzlich in der 3 bis 4 mm breiten Zone, die sich auch für das blosse Auge in der Peripherie des Stammes zeichnete. Da die an diese Zone zunächst nach innen zu grenzenden, zum Theil in dieselbe übergreifenden Gefässbündel aber bereits auch mit der Verdickung ihrer Sklerenchymfasern begonnen hatten, ja dieselben zum Theil an der einen Seite des Belegs schon verdickt, an der anderen unverdickt zeigten, so liess sich hieraus bereits schliessen, dass die Verdickung der Sklerenchymfasern von aussen nach innen im Stamme fortschreitet und erst in relativ bedeutender Entfernung vom Scheitel dessen Mitte erreicht. Von Vortheil ist es aber sicher, dass in den inneren Stammtheilen die den Siebtheil zunächst umhüllenden Sklerenchymfasern zuerst und schon frühzeitig ihre Verdickung erhalten und so für den Schutz der weichen Siebröhren und Geleitzellen alsbald sorgen können. Ebenfalls muss es als vortheilhaft erscheinen, dass die Verdickung der Sklerenchymfasern in der Peripherie des Stammes beginnt und dort am frühesten vollendet ist, so wie es die an die Biegungsfestigkeit zu stellenden Anforderungen verlangen. — In der äussersten Zone des Stammes haben wir nur noch gefässbündelfreie Sklerenchymfaserstränge und äusserst reducirte Gefässbündel umfassende Sklerenchymfaserbelege vor uns, und entspricht diese Zone der Rinde des Stammes, ohne jedoch von dem Centralcylinder scharf abgesetzt zu sein. — Während wir an den Sklerenchymfasern der Gefässbündel im Stamminnern die Kieselkörper vermissten, solche dort nur an den isolirten Sklerenchymfasersträngen fanden, treten uns diese Körper nahe der Stammoberfläche auch an den Skleren-

chymbelegen der Bündel entgegen. Ihr Auftreten beginnt an den noch unverdickten Sklerenchymfasern der Bündel in einer nicht scharf abgesetzten Region, welche noch dem Centralcylinder des Stammes angehört. Die Ausscheidung der Kieselkörper geht somit der Verdickung der Sklerenchymfasern voraus. Die unverdickten Sklerenchymfasern sondern somit das Silicat nach den angrenzenden Aufnahmezellen aus, und später erst deponirt sich Zellhautstoffmasse in ihrem Innern. Den Sklerenchymfasern der Belege an den inneren Gefässbündeln fällt aber nur die letzte Aufgabe zu.

Drei Centimeter unterhalb des Vegetationskegels hatte der Stamm bereits einen Durchmesser von 5 cm aufzuweisen. An dieser Stelle waren in den Gefässbündeln die der Innenkante nächsten Ring- und Schraubentracheïden allein entwickelt. Denjenigen Gefässbündeln, welche im fertigen Zustande nur grosse Gefässe führen, ging jetzt noch jedes fertige Gefäss ab. Die Cribralprimanen der grösseren Gefässbündel befanden sich in voller Thätigkeit. Alle Sklerenchymfasern erschienen noch dünnwandig. Die Ausscheidung von Kieselsäure hatte noch nicht begonnen.

5 cm tiefer, also in 8 cm Entfernung vom Scheitel, bei einem Stammdurchmesser von 6,5 cm, zeigten sich alle Tracheïden und Gefässe, die mittleren grossen ausgenommen, fertiggestellt, doch die Cribralprimanen noch in Thätigkeit. Die Sklerenchymfasern waren überall dünnwandig, doch hatte die Ausscheidung der Kieselkörper in den vorgebildeten Kieselzellen begonnen. Diese Kieselzellen erschienen noch ganz dünnwandig, schlossen in voller Breite an einander. Die Kieselkörper hatten die halbe Grösse erreicht. Sie zeigten unregelmässig längliche, bis runde, vielfach eingebuchtete Formen. Die Sklerenchymfasern führten auf diesem, wie auf dem vorhergehenden Zustande etwas feinkörnige Stärke.

Noch 6 cm tiefer, somit in 14 cm vom Stammscheitel, ist der Durchmesser des Stammes auf 7 cm angewachsen. Alle Tracheïden und Gefässe sind jetzt, bis auf die centralen, grossen, fertig; letztere hingegen immer noch im cambialen Zustande, so dass die auf das grosse Gefäss beschränkten Bündel immer noch ohne alle fertige Gefässe erscheinen. Diese Gefässbündel gehören eben noch völlig unentfalteten Blättern an, die keiner Wasserzufuhr bedürfen. Die Verdickung der Sklerenchymfasern

hat noch nicht begonnen; für die Festigkeit sorgen hinreichend die zahlreichen steifen, den Stamm umgebenden Blattscheiden. Die Cribralprimanen, die nur in den grösseren Gefässbündeln ansehnlichere Ausbildung erfahren hatten, werden jetzt zerquetscht, zugleich die engsten, innersten, den Vasalprimanen zugehörigen Tracheïden desorganisirt. Die Kieselkörper haben an Grösse zugenommen und nähern sich der definitiven Gestalt.

Abermals 8 cm tiefer, somit in 22 cm Entfernung vom Scheitel, bei einem Durchmesser von 7,8 cm, zeigen sich auch die grossen Gefässe zum Theil vollendet. Sie sind fertig in allen Gefässbündeln mit stärker entwickeltem Gefässtheil, hingegen nicht in denjenigen, deren Gefässtheil nur die grossen Gefässe führt, somit unfertig in den unteren Enden der Blattspurstränge noch unentfalteter Blätter. In den inneren Theilen des Centralcylinders war jetzt die Verdickung der Sklerenchymfaserstränge im Gange. Nach der Peripherie zu wurden die Sklerenchymstränge dünnwandiger, zeigten sich eventuell ganz unverdickt. In der äussersten Region des Centralcylinders und in der Rinde nahm ihre Verdickung wieder zu. Auch die Verdickung der Sklerenchymfasern der Gefässbündelscheiden hatte schon in der Peripherie des Centralcylinders begonnen.

Selbst um noch 12 cm tiefer, also in 34 cm Entfernung vom Vegetationskegel, war das meist in Einzahl vorhandene Gefäss in den peripherisch gelegenen Bündelenden noch nicht fertig. Solche Bilder sind recht instructiv, weil sie deutlich zeigen, wie bedeutend die Strecke ist, welche bei dieser Palme die in den Stamm eintretenden Blattspurstränge zu durchlaufen haben. Denn solche gefässfreie Bündelenden gehören, allen unseren diesbezüglichen Untersuchungen nach, Gefässbündeln' die in ihrem ganzen Verlauf noch ohne fertige Gefässe sind und in einem unentwickelten Blatte münden, das auch noch aller fertigen Gefässe entbehrt. Das giebt für den Verlauf der Blattspurstränge hier eine Länge von über 30 cm. — In der äussersten Zone des Centralcylinders und in der Rinde sind hingegen alle Gefässe der Bündel fertig gestellt. Die Rindenbündel haben hier eine grössere Anzahl äusserst kleiner, die der Peripherie des Centralcylinders angehörigen ein einziges, etwas grösseres Gefäss aufzuweisen. Dieses Verhalten erklärt sich aus dem Umstande, dass es sich hierbei um Blattspurstränge von peripherischem Verlauf handelt, die den Weg durch das Stamm-

innere gar nicht zurückzulegen hatten, die somit, trotz ihrer peripherischen Lage, relativ alten Blättern angehören. Die Verdickung der Sklerenchymfasern an den Sklerenchymsträngen und an den Sklerenchymbelegen dieser peripherischen Zone ist in der betreffenden Entfernung vom Vegetationskegel auch schon vollendet. Im Innern des Centralcylinders gilt das Gleiche nur für die Sklerenchymfaserstränge; in den Gefässbündelscheiden hat nicht einmal die Verdickung der dem Siebtheil nächsten Fasern begonnen. Die Ausbildung der Kieselkörper war an allen verdickten Sklerenchymfasern, soweit dieselben der Kieselausscheidung dienen, vollendet.

Erst in 54 cm Entfernung vom Vegetationskegel sind sämmtliche Gefässe fertig gestellt, der Zustand somit erreicht, wie wir ihn in dem zuerst geschilderten Querschnitte kennen gelernt haben. Der Durchmesser des Stammes hatte von der 22 cm vom Vegetationskegel entfernten Stelle an bis hierher nur um 60 mm zugenommen.

Denselben Stamm, dessen oberstes 60 cm langes Stück ich erhalten hatte, untersuchte Eichler auf das Dickenwachsthum in dem unteren Theile. Ich entnehme seiner Publication [1]) diejenigen Daten, die zur Vervollständigung des Bildes hier erwünscht erscheinen. Nicht alle Palmen sind des Dickenwachsthums fähig; es scheint dasselbe nur auf die Cocos- und Mauritia-ähnlichen Formen beschränkt zu sein. Der in Frage stehende Stamm von Cocos flexuosa war ca. 12 m hoch geworden, und hatte am Wurzelknoten 40 cm, 1 m oberhalb noch 31 cm, in 3 m Höhe über dem Boden nur noch 14,5 cm Durchmesser aufzuweisen. Er verjüngte sich weiter noch ganz allmählich, bis er 60 cm unter der Stammspitze nur noch 9 cm Durchmesser zeigte. Diese Stelle lag dicht unter der ältesten noch vorhandenen Blattscheide. Die ganze Stammverdickung beruht aber nur auf Erweiterung der Grundgewebszellen, und zwar des Parenchyms derselben wie der die Gefässbündel begleitenden Sklerenchymfaser-Belege. Durch das Anwachsen des Volumens der Parenchymzellen des Grundgewebes werden die Gefässbündel, sammt ihren Scheiden, auseinandergerückt. Mit der Verdickung der Sklerenchymfaser-Belege ist aber auch eine

---

1) Ueber die Verdickungsweise der Palmenstämme, Stzber. der Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1886, Bd. XXVIII, p. 501.

Dickenzunahme der einzelnen Sklerenchymfasern verbunden. In dem untersten, mir zu Gebote stehenden Querschnitt waren diese unverdickten Sklerenchymfasern noch relativ englumig, zum Theil comprimirt; weiter abwärts gewinnen sie mit statthabender Verdickung zugleich einen Durchmesser, der wesentlich bedeutender ist als derjenige der zuerst zur Verdickung gelangenden, dem Siebtheile zunächst anliegenden Sklerenchymfasern. Die plötzliche Anschwellung an der Basis, am „Wurzelknoten", verdankt hauptsächlich auch nur einer fortgesetzten Anschwellung der parenchymatischen Elemente des Grundgewebes ihre Ausbildung [1]).

Der Vegetationskegel des Stammes liegt in einer seichten Mulde und springt nur unbedeutend aus derselben vor. Er zeigt nur mikroskopische Grösse. Wohl aber nimmt die Stammentwickelung unterhalb der jüngsten Blattanlagen gleich so bedeutende Maasse an, dass 2 cm unter dem Vegetationskegel der Stammdurchmesser schon 4,5 cm beträgt. Die Stammspitze erscheint somit als ein stumpfer Kegel mit einer schwachen Einsenkung am Scheitel, aus welcher der kleine Vegetationskegel hervorspringt. Mediane Längsschnitte aus jener Gegend lassen uns bereits die wesentlichen Momente des Gefässbündelverlaufs überblicken. Je stärker die eintretenden Blattbündel sind, um so grösser der Bogen, den sie beschreiben, um so tiefer und rascher dringen sie in den Stamm vor, dessen Mitte annähernd erreichend. Die Sklerenchymstränge des Blattes und die äussersten zwischen denselben befindlichen, reducirten Bündel bleiben in der Peripherie. Dieser Verlauf wurde an aufeinander folgenden Querschnitten durch zwei volle Internodien, innerhalb einer 5 cm langen Strecke, 2,5 cm unter dem Vegetationskegel beginnend, verfolgt. — Die Grösse der Bündel innerhalb der Blattscheide nimmt langsam gegen die Unterseite derselben ab. Die Bündel traten um so später in den Stamm ein, je mehr sie dieser Unterseite genähert waren. Den der Mediane des Blattes näheren kommt ein Vorsprung gegenüber den nach beiden Seiten sich von ihr entfernenden zu. Nur die der Blattunterseite nächsten, sehr reducirten Bündel und Sklerenchymfaserstränge verbleiben in der Rinde.

---

1) Eichler, l. c. p. 508.

Gefässbündel-Verschmelzungen lassen sich vereinzelt an allen Punkten des Querschnitts antreffen, finden aber normaler Weise in einer äusseren Zone des Centralcylinders statt. Sie sind nicht auf eine bestimmte Höhe im Knoten oder im Internodium beschränkt, erfolgen aber doch ganz vorwiegend vor Beginn des Eintritts der neuen Blattspurstränge, also oberhalb der Knoten. Bei der Vereinigung der Gefässbündel findet hier eine Vermehrung der Gefässe nicht statt; das eine Gefäss des endenden Bündels legt sich an dasjenige des aufnehmenden an, so dass man zunächst zwei Gefässe, die durch eine meist perforirte Wand verbunden sind, neben einander sieht. Diese beiden Gefässe setzen sich alsbald in ein einziges fort. Auch die Rindenbündel treten nach längerem Verlauf, hier wie bei Chamaedorea, in die Peripherie des Centralcylinders ein; weisen dort nur noch ein einziges Gefäss auf, und gelangen zur Verschmelzung. Die Sklerenchymfaserstränge der Rinde anastomosiren unter einander wie bei Chamaedorea und sind auch mit den Sklerenchymfasersträngen des Centralcylinders durch Anastomosen verbunden; letztere hängen ihrerseits unter einander zusammen.

Wie aus der gegebenen Schilderung folgt, erfahren auch die Bündel von Cocos flexuosa eine sehr bedeutende Reduction, bevor sie an ihrem unteren Ende sich mit anderen Bündeln vereinigen. Auch hier werden somit die Wasserbahnen nach unten zu um sehr viel enger, und dürfte ihr oberer erweiterter Theil somit auch hier nicht allein der Leitung, sondern auch als Wasserbehälter dienen. Was aber für uns von besonderer Bedeutung ist, das ist der Umstand, dass dieses für Leitung auf bedeutende Höhe eingerichtete Gefässbündelsystem sich in seinem Bau von demjenigen der Gramineen-Bündel und so niedriger Palmen, wie Chamaedoreen, nicht unterscheidet.

Dieselbe Verengung, wie die Gefässtheile, erfahren nach abwärts, auch bei Cocos flexuosa, die Siebtheile. Der gesammte Stamm fungirt als Reservestoffbehälter, in welchem die überschüssigen Assimilate deponirt werden.

Der gemeinsame Stiel der Blätter von Cocos flexuosa ist an der Unterseite flach vorgewölbt, an der Oberseite läuft er in eine abgestumpfte Kante aus, die nach der Blattspitze zu immer schärfer wird. An den Abdachungen der Oberseite des Blattstiels sind die Fiedern schräg inserirt, in Gruppen, die

durch fiederlose Abschnitte getrennt werden. Jede Gruppe besteht aus 3 bis 6 Gliedern, deren untere und obere in schräger, nach der Blattstiel-Oberseite convergirender Richtung, deren mittlere rein quer zur Längsaxe des Blattstiels inserirt sind. Die von Eichler [1]) geschilderten Entwicklungsvorgänge bringen es mit sich, dass jede Fieder an der Insertionsstelle ihre Mittelrippe nach innen wendet, ihre beiden Spreitenhälften nach aussen, und dass beide Spreitenhälften gemeinsame Insertion haben, das heisst am Grunde zusammenlaufen. In einiger Entfernung von der Insertionsstelle breitet sich die Fieder flach aus. Die longitudinale Nervatur der Fiedern ist die nämliche wie bei Chamaedorea, hingegen lehrt bereits Lupenbetrachtung, dass quere Anastomosen von etwas geschlängeltem, schrägem Verlauf die longitudinalen Bündel verbinden. Ihre Insertionsstellen an den longitudinalen Bündeln markiren sich als hellere Punkte. Meist setzt sich die Anastomose über mehrere Längsbündel fort. Die Längsbündel erschöpfen sich nach oben zu, wie bei Chamaedorea. — Der Mittelnerv springt stark nach oben vor. Er schliesst, wie die mikroskopische Untersuchung lehrt, eine grössere Anzahl von Gefässbündeln ein, die, wie bei Chamaedorea, in gestreckte parenchymatische Elemente, die der Leitung der Kohlehydrate dienen, eingebettet sind. Dieser ganze Complex ist von einer gemeinsamen, aus Sklerenchymfasern bestehenden, starken Scheide umgeben, verhält sich somit in dieser Beziehung wie ein einzelnes Bündel. Diese Scheide zeigt sich mit zwei Durchlassstellen versehen, welche an der Oberseite der Spreite in das chlorophyllhaltige Mesophyll münden. Die innerhalb des leitenden Gewebes der Rippe gelegenen Bündel sind an der Siebtheilseite mit ein bis zwei Lagen Sklerenchymfasern umscheidet, während an der Gefässtheilseite die Scheidenelemente nicht gegen das übrige Grundgewebe absetzen. Es zeigt sich in diesem Verhalten hier besonders schön, die auch sonst hervortretende bevorzugte Beziehung des Gefässtheils der Gefässbündel zu dem die Kohlehydrate leitenden Gewebe. — Der mechanische Schutz, den die Sklerenchymfasern dem Siebtheil gewähren, wird an den stärkeren in der Mediane der Rippe gelegenen Bündeln dadurch

1) Zur Entwicklungsgeschichte der Palmblätter, Abh. d. Ak. d. Wiss. zu Berlin, 1885, p. 17.

erhöht, dass die Sklerenchymfasern einerseits, die verholzten Elemente des Vasalparenchym andererseits in den Siebtheil vorspringen und zu einer Platte verschmelzen, die den Siebtheil halbirt. — Die kleineren peripherischen Gefässbündel des Gefässbündelcomplexes der Rippen sind mehr oder weniger tief in die äussere Sklerenchymscheide eingebettet. Am Grunde der Blattfieder werden die leitenden Elemente zwischen den Bündeln stark verdickt. Ausgenommen hiervon sind nur schmale Gewebsstreifen, welche die Gefässbündel, sammt ihren Scheiden, gegen einander abzugrenzen beginnen. Die beiden Durchlassstellen des Complexes führen jetzt auf diese Trennungsstreifen hin. Die drei unteren Bündel des Complexes vereinigen sich zu einem einzigen, die anderen gehen keine Verschmelzungen ein. Alsdann treten sie, von stark verdickten, völlig geschlossenen Scheiden umgeben, in den gemeinsamen Blattstiel ein. Nach dem Scheitel der Fieder zu erschöpfen sich die Gefässbündel der Rippe allmählich, so dass ich in einem concreten Falle in 6 cm Entfernung von der Spitze nur noch zwei von den dreizehn Bündeln vorfand, die ich am Grunde der Fieder gezählt hatte. Diese zwei Gefässbündel entsprachen den beiden in der Mediane der Rippe zuvor über einander gelegenen, welche sich gleich Anfangs durch ihre bedeutendere Grösse auszeichneten. Jedes der beiden Gefässbündel hat jetzt seine eigene an der Grenze von Gefäss- und Siebtheil gelegene Durchlassstelle aufzuweisen. Das untere der beiden Bündel ist schwächer, und in 2 cm Entfernung von der Spitze ist nur noch das obere vorhanden. Der ganze Bündelcomplex der Rippe hat somit schliesslich den Habitus eines einzigen Gefässbündels angenommen, dessen Gefässtheilseite von gestreckt parenchymatischen Elementen umscheidet ist. Der Siebtheil wird von Sklerenchymfasern umfasst, und auch an der Gefässseite werden die leitenden Scheidenelemente von dem chlorophyllhaltigen Mesophyll durch eine mehr oder weniger vollständige Schicht von Sklerenchymfasern getrennt. An den Flanken befinden sich bereits Durchlassstellen. Die Längsbündel der Lamina sind im Wesentlichen wie bei Chamaedorea gebaut. Doch findet man von Sklerenchymfasern völlig umschlossen nur einzelne, ganz am Grunde der Fieder. Bald haben sie sämmtlich Durchlassstellen aufzuweisen, doch sind diese aus ziemlich englumigen Zellen gebildet, die den Ver-

kehr mit der Umgebung wohl ziemlich einschränken. Gefässbündel mittlerer Stärke zeigen den Gefässtheil von einer starken Schicht parenchymatischer, der Glycoseleitung dienender Scheidenelemente umgeben. Diese werden am Innenrande gestützt und abgeschlossen durch Sklerenchymfasern. Der Gefässtheil besteht aus Tracheïden, Gefässen und dünnwandigem Vasalparenchym, dessen Grenze gegen die parenchymatischen Scheidenelemente sich nicht ziehen lässt. Der Siebtheil wird von Sklerenchymfasern umfasst und durch Sklerenchymfaser-Vasalparenchym-Platten in vier Abschnitte zerlegt. Die beiden mittleren Abschnitte sind weit grösser als die seitlichen, letztere zugleich engzelliger. Die seitlichen Abschnitte kommen an den Flanken der Gefässe zu liegen. Die bedeutende Ausdehnung des Siebtheils, die starke Entwicklung des Vasalparenchyms an der Innenseite des Siebtheils, sein Eindringen in denselben macht auch hier das parenchymatische Gewebe an der Aussenseite des Siebtheils entbehrlich, so dass dort die verdickten Scheidenelemente direct an die Siebröhren und Geleitzellen grenzen können. Die den Siebtheil durchsetzenden Platten bestehen entweder nur aus verholzten Elementen des Vasalparenchyms, oder sie setzen sich nach aussen in Sklerenchymfasern fort. Die Durchlassstellen sind, dem Umstande gemäss dass der Siebtheil so weit um die Gefässe greift, nach innen zu an den Flanken des Gefässbündels verschoben. Die von Anfang an kleinen Gefässbündel, respective die während ihres Verlaufs in der Spreite kleiner gewordenen, zeigen sich ohne Sklerenchymfasern an der Gefässtheilseite. Weiter ist bei fortgesetzter Grössenabnahme der Gefässbündel eine allmähliche, ziemlich gleichmässige Reduction des Gefässtheils, Siebtheils und der parenchymatischen Elemente am Gefässtheil zu constatiren. Der Siebtheil erscheint an schwächeren Bündeln nur noch einmal oder überhaupt nicht mehr getheilt. Bei fortgeschrittener Reduction wird der Zustand erreicht, wie ihn unsere Figur 43, Taf. V, wiedergiebt. Der Gefässtheil besteht aus einigen Gefässtracheïden und Vasalparenchymzellen. Diese trennen die Tracheïden vom Siebtheil, der aus einigen Siebröhren und schmäleren Geleitzellen besteht. Dieses Bündel wird am Gefässtheil von einer Schicht gestreckt parenchymatischer, chlorophyllfreier, relativ weitlumiger Elemente, am Siebtheil von Sklerenchymfasern umfasst. Letztere erscheinen auch

wohl durch flache, unverdickte, gestreckt parenchymatische Elemente mehr oder weniger vollständig vom Siebtheil getrennt. Alle diese das Gefässbündel umgebenden Elemente sind dem Gewebe des Centralcylinders des Stammes homolog und nach abwärts in dieses zu verfolgen, müssen somit als ein Stelolemma bezeichnet werden. Andererseits sieht man aber, in dem Maasse als die sklerenchymatische Umhüllung am Gefässtheil schwindet, die angrenzenden Mesophyllzellen fester um das Stelolemma an dieser Seite zusammenschliessen. Sie bilden so eine unvollständige Scheide, welche aus etwas abgeflachten, lückenlos verbundenen, der Schwefelsäure auch etwas besser widerstehenden Zellen besteht. Auch zeigen sich die Radialwände dieser Scheide etwas stärker verdickt, wenn auch sonst nicht charakteristisch ausgestaltet. Diese Mesophyllscheide ist aber ihrer Natur nach ein Phloeoterma. In ihrem weiteren Verlauf werden die Gefässbündel noch einfacher und erlöschen schliesslich, während die Sklerenchymfasern, sich langsam erschöpfend, den Strang noch eine Zeit lang fortsetzen. — Sehr eigenthümlich sind die Querbündel gebaut, die als Anastomosen die Längsbündel verbinden. Diese Querbündel bestehen nämlich nur, wie unsere Fig. 44, Taf. V, zeigt, aus einigen Schraubentracheïden und dünnwandigen, wenig gestreckten Vasalparenchymzellen, und sind von einer doppelten bis dreifachen Hülle von Sklerenchymfasern umscheidet. Während somit derartige quere Anastomosen sonst dazu dienen, Assimilate aus dem Mesophyll aufzunehmen und Wasser an dasselbe abzugeben, und daher möglichst dünnwandige Scheiden besitzen, haben diese nur die Aufgabe, die Wasserbahnen der Längsbündel in Verbindung zu bringen. Gegen das Mesophyll sind sie vollständig abgeschlossen. Sie halten sich an die Oberseite des Blattes. An den Stellen, wo sie ein Längsbündel kreuzen, verschmelzen sie meist mit demselben. Sie berühren alsdann das Längsbündel nur an dessen Gefässtheilseite. Ihre Scheide geht an der Berührungsstelle in die Gefässbündelscheide des Längsbündels über, ihre Tracheïden kommen in directe Verbindung mit den dem Innenrande nächsten Tracheïden des letzteren. Es flacht sich das Querbündel gewissermaassen am Längsbündel ab. Hört das Querbündel hingegen an dem Längsbündel auf, so erfolgt der Anschluss entweder an der Innenkante oder an der Flanke des letzteren. Seiner Function gemäss vereinigt sich aber das

Querbündel auch jetzt nur mit dem Gefässtheil des Längsbündels; seine Tracheïden biegen in das Längsbündel ein. Die Verschmelzungsstellen, soweit sie nicht an den Flanken der Längsbündel liegen, erscheinen bei Lupenbetrachtung als helle Knotenpunkte. Es hängt dies mit der Ausbreitung des Querbündels an der Ansatzstelle und mit dem Umstande zusammen, dass dessen Scheide dort das chlorophyllfreie Hypoderma erreicht, so dass kein chlorophyllhaltiges Gewebe mehr sie von der Epidermis trennt. Längsansichten von Querbündeln zeigen vielfach Tracheïden mit einseitig glatten Wänden; es sind das Wände, die an Sklerenchymfasern stossen.

Die Sklerenchymfasern der Gefässbündel, sowie die dünnen Sklerenchymfaserbündel, die an beiden Blattflächen dem einschichtigen, chlorophyllfreien Hypoderma folgen, sind von Kieselkörpern begleitet. Ausserdem sind in das Mesophyll grosse ellipsoïdische Zellen mit Raphidenbündeln eingestreut.

Zu beiden Seiten der Mittelrippe läuft an der Blattunterseite je ein heller Streifen. Derselbe wird von mehreren Etagen von Zellen gebildet, geht aber am Rande in das einschichtige Hypoderma über. Seine Zellen sind gross, parenchymatisch, dünnwandig, chlorophyllfrei, in der Richtung zur Oberfläche etwas gestreckt. Von der Oberseite des Blattes und der Scheide der Mittelrippe wird der Streifen durch ein flaches Lager chlorophyllhaltigen Mesophylls getrennt. Der Streifen ist durchsetzt mit kleinen Sklerenchymfaserbündeln, deren Zahl und Dicke von der Basis gegen die Spitze der Fieder abnimmt. Die Epidermis über dem Streifen ist im Gegensatz zu der übrigen Oberhaut der Fieder unterseits spaltöffnungslos, ihre Zellen ausserdem stark vorgewölbt. Der Mitte des Streifens entspricht eine schwache Rinne. Innerhalb dieser Gewebestreifen bewegen sich die beiden Blattfiederhälften an der Mittelrippe. Es liegen in denselben Gelenke vor. Die Gelenkzellen führen einen reducirten Plasmaschlauch, einen schönen Zellkern und sonst nur wässrigen Inhalt. Sie verhalten sich in dieser Beziehung ähnlich den Gelenkzellen der Gramineen. Sinkender Turgor in den Gelenkzellen hat ein Zusammenlegen der beiden Fiederhälften nach unten zur Folge, während steigender Turgor zur flachen Ausbreitung der Spreite führt. Die Epidermis auf dem Gelenk setzt der Bewegung nur wenig Widerstand entgegen; sie ist so gebaut, dass sie sich leicht

falten kann. Die Abwärtsfaltung der Fiedern der Cocospalme an sonnigen Standorten war Johow[1]) in Westindien aufgefallen. — Am Grunde der Fieder vereinigen sich beide Gelenke unterhalb der zurücktretenden Rippe. Die Fieder ist dort scharf gefaltet, eine Bewegung aber nicht möglich, da die beiden Fiederhälften in fester Verbindung mit dem gemeinsamen Blattstiel stehen. Auch nach der Spitze der Fieder zu treten beide Gelenke unter der an Grösse abnehmenden Mittelrippe in Verbindung, doch ohne vollständig zu verschmelzen. Die flache Chlorophyllschicht oberhalb der Gelenke wird in der ganzen Länge der Fieder von Querbündeln durchsetzt, die nach der Mittelrippe gehen.

Der Eintritt der Fiederbündel in den gemeinsamen Blattstiel ist insofern weniger instructiv als bei Chamaedorea, als diese Bündel hier eine Sklerenchymscheide des Blattstiels nicht zu passiren haben. Ein solcher Abschluss ist nicht vorhanden. Je nach der Insertion der Fieder schreitet die Verschmelzung derselben mit dem Blattstiel von den Rändern gegen die Mittelrippe oder umgekehrt fort. In entsprechender Reihenfolge treten die Fiederbündel in den Blattstiel ein. Die Bündel der vom Blattstiel abgekehrten Fiederhälfte wenden hierbei ihren Gefässtheil nach aussen und führen langsam eine Drehung um ihre Achse innerhalb des Blattstiels aus. Die eintretenden Fiederbündel bleiben zunächst in der Peripherie des Blattstiels, wo sie theils mit anderen Blattstielbündeln verschmelzen, theils frei abwärts laufen. In dem Maasse, als neue Fiederbündel hinzukommen, rücken die älteren allmählich gegen die Mitte. Dabei giebt ihre Scheide die starke Verdickung auf. Die mikrochemische Behandlung lehrt, dass fast alle Elemente des Grundgewebes innerhalb des gemeinsamen Blattstiels Glycose führen, besonders reich an Glycose sind aber die Grundgewebsschichten in der Nähe der Gefässbündel. — An den peripherischen Bündeln des Blattstiels, mit stark verdickten Gefässbündelscheiden, erscheint der Siebtheil hinlänglich gegen Druck geschützt. An den inneren, nur mit schwächeren Scheiden versehenen Gefässbündeln stellt sich dieselbe Einrichtung ein, die wir in den

---

1) Ueber die Beziehungen einiger Eigenschaften der Laubblätter zu den Standortsverhältnissen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 393.

Blattfiedern gefunden, der Siebtheil wird von Stützplatten aus Sklerenchymfasern und Vasalparenchymzellen durchsetzt.

Der Blattstiel geht ziemlich unvermittelt in die den Stamm umfassende Blattscheide über. Innerhalb dieser Blattscheide sind alle Gefässbündel an der Siebtheilseite von Sklerenchymfasern stark umscheidet. Ihr Gefässtheil wird von einer starken Lage parenchymatischer Scheidenelemente umgeben und hat um diese nur etwa noch einen Beleg aus Sklerenchymfasern aufzuweisen. In den stärksten, der Mediane des Blattes entsprechenden Theilen der Blattscheide folgen die Bündel in zahlreichen Zonen auf einander. Die mit stärksten Sklerenchymfaserscheiden versehenen nehmen die Aussenseite ein. Das grosszellige Grundgewebe wird ausserdem noch von kleinen, stark umscheideten Bündeln und von Sklerenchymfasersträngen durchzogen. Schon im Querschnitt fällt der theilweise schräge Verlauf der kleinen Bündel und Sklerenchymfaserstränge in die Augen. Namentlich gilt dies für die reducirten Bündel, welche den nämlichen Bau zeigen, den wir an den Querbündeln der Fiederlamina kennen gelernt. Der Unterseite folgen, in gerader Richtung, kleine Sklerenchymfaserstränge und schwache Bündel, die von Sklerenchymfasern nur an ihrer Aussenseite stark umscheidet sind. Dünne Sklerenchymfaserstränge verlaufen in grosser Zahl auch an der Oberseite der Blattscheide. In dem Maasse, als mit der Entfernung von der Mediane die Blattscheide an Dicke abnimmt, geht auch die Zahl der Gefässbündelzonen in derselben zurück. Ist die Dicke bis auf 2 mm gesunken, so findet man, abgesehen von den reducirten Bündeln und Sklerenchymfasersträngen der Peripherie, nur noch zwei Zonen grösserer, mit stärkerer Sklerenchymfaserscheide versehener Bündel vor. Diese zwei Gefässbündelzonen bleiben weiterhin erhalten, ungeachtet die Dicke der Blattscheiden schliesslich nur ca. 1 mm beträgt. Der Verlauf der Bündel innerhalb der Blattscheide ist ein ganz eigenthümlicher. Innerhalb des dicken, in den Blattstiel sich fortsetzenden Theiles der Blattscheide laufen die Bündel parallel der Mediane aufwärts. Zu beiden Seiten dieser mittleren Partie biegen sie seitlich aus. Sie laufen annähernd parallel zu einander und folgen der Aussenseite der Blattscheide. Haben sie aber die der Mediane gegenüberliegende Stelle der Scheide erreicht, so gehen sie von der Aussenseite auf die Innenseite über und

setzen nun an jener ihren Lauf fort. An dieser Innenseite ist ihr Verlauf aufwärts sehr steil, sie nähern sich daher nur langsam dem angeschwollenen mittleren Scheidentheile, um unter der Abgangsstelle des Blattstiels schliesslich zu erlöschen. Diese Blattscheidenbündel machen somit einen fast vollen Umlauf um den Stamm, um in aufsteigender Richtung die Mediane der Blattscheide an der entgegengesetzten Seite zu erreichen, als sie dieselbe verliessen. Die Kreuzungsstellen der Bündel an der der Mediane gegenüberliegenden Stelle der Blattscheide sind besonders instructiv. Die doppelte Zone der grösseren Gefässbündel innerhalb der dünnen Scheidentheile erklärt sich aus diesem Verlauf. Die äusseren Bündel sind die sich von der Mediane entfernenden, die inneren sind die sich ihr nähernden. Die Bündel jeder Zone unter einander, so wie auch der beiden Zonen, sind durch die äusserst zahlreichen feinen Querstränge verbunden. Während der Dickenzunahme der jüngeren Blattanlagen und des Stammes werden die alten Blattscheiden stark gedehnt, wobei ihnen der geschilderte Bündelverlauf sehr zu Gute kommt. Die an beiden Bündelzonen gebildeten Maschen werden quer gestreckt, ihr Verlauf nimmt an Steilheit ab. Alsdann wird das Grundgewebe dieser Theile der Blattscheide zerstört, die Gefässbündel sterben hier ab. Sie fahren aber fort, ein festes Maschenwerk zu bilden, ein freipräparirtes Gefässbündelskelet, das den Stamm umfasst.

Auf verschiedene weitere Modificationen, welche das Gefässbündel der Palmen bieten kann, liegt nicht in meiner Absicht einzugehen. Immerhin sei hier noch auf einige Eigenthümlichkeiten hingewiesen. In den Blattrippen von Phoenix silvestris enthält der Siebtheil der Gefässbündel ziemlich stark verdickte und verholzte Zellen, die meist in Strängen oder Platten zusammenstehen. — Diese Zellen entsprechen, wie Querschnitte lehren, in ihrer Lage und ihrer Gestalt den Geleitzellen. Letztere haben zum Theil ihre Wände ähnlich, wenn auch nicht ganz ebenso stark wie die sklerenchymatischen Elemente der Scheide, verdickt. Besonders zahlreich werden diese verdickten Geleitzellen an dem Innenrande des Siebtheils, wo sie an die Parenchymbelege der Gefässe stossen. Von aussen springen die verdickten Scheidenelemente mehr oder weniger tief in den Siebtheil ein und schliessen an die hier ebenfalls meist verholzenden Cribral-

primanen an. Im Längsschnitt überzeugt man sich, dass die verdickten Geleitzellen dieselbe Länge wie die unverdickten besitzen, und dass sie fortlaufende Reihen bilden. Nach den Siebröhren zu sind sie von zahlreichen rundlichen Poren durchsetzt. Bei stärkerer Verholzung hört augenscheinlich ihre ursprüngliche Function auf. Aus der Verdickung dieser Elemente erwächst aber jedenfalls auch ein mechanischer Vortheil für den dünnwandigen Siebtheil, der durch die verdickten Stränge und Platten vor dem Zerquetschen geschützt wird. Eine solche Gefahr wäre bei den starken Biegungen, welche dieses lange Blatt im Winde auszuführen hat, in der That vorhanden.

Bei Chamaerops humilis werden die Siebtheile in den Gefässbündeln des Blattstiels in besonders auffälliger Weise halbirt. Es greifen die Sklerenchymfasern der Scheide durch den Siebtheil bis zu dem Gefässtheil vor, wo sie an die stark verdickten und verholzten, in kräftiger Schicht der Siebtheilgrenze folgenden Vasalparenchymzellen ansetzen. Die in beiden Hälften des Siebtheils vertretenen Cribralprimanen sind verholzt, und schwache, stellenweise etwas stärkere Verholzung zeigen auch vereinzelte Geleitzellen oder Geleitzellstreifen in dem thätigen Siebtheil. Ausserdem greift noch stellenweise die Verholzung aus dem Vasalparenchym auf einzelne Elemente des Siebtheils über. In manchen Fällen durchsetzen zwei schmälere Brücken von Sklerenchymfasern statt einer einzigen den Siebtheil; sie schliessen alsdann einen medianen Streifen des Siebtheils zwischen sich ein.

Im Blattstiel von Rhapis flabelliformis ist Dreitheilung des Siebtheils Regel, ausserdem kommt Viertheilung vor.

Auch die Sklerenchymfasern aller dieser Palmen werden von Zellenzügen begleitet, die Kieselkörper führen [1]). Bei Chamaerops sind diese Zellenzüge weniger zahlreich, dafür die Kieselkörper grösser. Bei Phoenix und Rhapis zeigen die Kieselkörper dieselbe Häufigkeit und die nämliche Grösse wie bei Chamaedorea, Im Gegensatz zu Chamaedorea sind aber bei allen drei Pflanzen die Kieselkörper rund und an ihrer ganzen Oberfläche mit Warzen bedeckt, somit wie bei Cocos gestaltet. Bei Rhapis werden ausserdem die kieselhaltigen

---

1) Vergl. hierzu auch Kohl, Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze, 1889, p. 291.

Zellen so weit auseinandergezogen, dass sie völlig getrennt erscheinen.

Die Halbirung des Siebtheils durch eine Sklerenchymfaserplatte kommt, wie aus v. Mohl's Abbildungen [1]) zu entnehmen, auch den Gefässbündeln der Blattstiele von Acrocomia sclerocarpa und Calamus Draco zu. de Bary konnte die gleiche Erscheinung auch im Stamme von Calamus und von Rhapis flabelliformis beobachten [2]). In einem jungen Stamme von Chamaerops humilis, den ich untersuchte, war der Siebtheil der Gefässbündel nicht getheilt.

Bei Phoenix silvestris fehlen die Anastomosen zwischen den Längsbündeln der Blattspreite, so wie bei Chamaedorea. Auch ist dort an der Basis der Fiedern ein Theil der Bündel völlig geschlossen. Eine Mittelrippe fehlt bei Phoenix silvestris, an der Biegungsstelle ist ein Gelenk von ähnlichem Bau wie bei Cocos vorhanden. Ganz entsprechend verhält sich Chamaerops humilis. Rhapis flabelliformis hat hingegen wiederum dieselben Querstränge wie Cocos flexuosa. An den wiederholt gefalteten, verschieden breiten Fiedern von Rhapis flabelliformis springen stärkere Rippen nach der Oberseite, schwächere nach der Unterseite vor. Diese Rippen schliessen innerhalb einer starken Sklerenchymfaserscheide nur je ein Bündel mit vielfach getheiltem Siebtheil ein. Vor jeder Rippe, abwechselnd somit an der Oberseite und Unterseite der Fieder, liegt ein einfaches Gelenk von demselben Bau, wie wir ihn zuvor geschildert. Am Grunde der Fieder sind die Bündel nur zum Theil offen, so dass in dieser Beziehung Rhapis an Chamaedorea anschliesst. Weiter hinauf haben sich aber alsbald alle Bündel geöffnet, und die Querstränge treten hinzu. Die Rippen an der Unterseite der Fieder erschöpfen sich rasch.

Wichtig schien es nunmehr auch, eine mit dauerndem Dickenwachsthum versehene Monocotyledone in Betracht zu ziehen. Am einfachsten schien es mir auch hier, an die besonders oft schon untersuchten Dracaeneen anzuknüpfen. Ab-

---

1) De Palmarum structura, in Martius, Historia naturalis Palmarum, Taf. K, Fig. 2 und 8.

2) Vergl. Anat., p. 341, 342.

weichend von meinem bisherigen Verfahren, will ich hier zunächst die Gefässbündel der Blattspreite ins Auge fassen.

Die Seitennerven der Blattspreite von Cordyline rubra verlassen unter sehr spitzem Winkel den Mittelnerv, um nach schwach bogigem Verlauf, schliesslich mit dem Ende seitlich ausbiegend, an einen anderen Nerv anzulegen. Diese Vereinigungen erfolgen in der Nähe des Blattrandes; nach der Blattspitze zu auch in den inneren Theilen. Während ihres Verlaufs werden diese Längsbündel durch schräge Querbündel seitlich verbunden. Die Längsbündel sind an der Vasal- und Cribralseite mit starken Sklerenchymfaser-Belegen versehen und haben an den Flanken schöne Durchlassstellen aufzuweisen. Das an die Gefässe nach aussen folgende Vasalparenchym ist stark verdickt, eine Grenze seitlich zwischen Scheidenelementen und Vasalparenchym nicht zu ziehen. Die den Siebtheil zunächst umgebenden Scheidenelemente sind der Hauptsache nach dünnwandig, gestreckt parenchymatisch; sie unterhalten die Verbindung mit den Durchlassstellen. Unverdickt bleiben zum Theil auch die den Siebtheil berührenden Vasalparenchymzellen. In vielen Bündeln trifft man seitlich, innerhalb des verdickten Vasalparenchyms, in der Nähe der Durchlassstelle, einen kleinen Siebtheil an. Er gehört einem in das Längsbündel eingetretenen Querbündel, dessen Siebtheil das Vasalparenchym durchsetzt, um sich mit dem Siebtheil des Längsbündels zu verbinden. — Die Sklerenchymfasern der Scheide sind stark verdickt, die Durchlasszellen gestreckt parenchymatisch, mit zahlreichen Poren versehen. Ebenso gestaltet und entsprechend getüpfelt, doch englumiger, zeigt sich das verdickte Vasalparenchym. Die kleinen, wenig zahlreichen Querbündel haben kreisrunden Querschnitt, sind auf wenige Elemente des Gefäss- und Siebtheils beschränkt und werden von porösen, gestreckt parenchymatischen, den Elementen der Durchlassstellen grösserer Gefässbündel entsprechenden Zellen begleitet. Zu einer vollen Umscheidung durch solche Zellen kommt es nicht. Scharf abgesetzte Mesophyllscheiden werden um die Gefässbündel nicht ausgebildet, auch nicht um die feinen Querbündel. Der Schwefelsäurebehandlung widerstehen die an die Gefässbündel grenzenden Mesophyllzellen nicht besser als entlegenere. — An der Ober- und Unterseite des Blattes laufen isolirte Sklerenchymfaserstränge, ohne Gefässbündeleinschlüsse. — Innerhalb der Blattscheide

nimmt die Stärke der sklerenchymatischen Belege um die Gefässbündel noch zu, die Durchlassstellen bleiben offen. Im Innern der bis dahin nur aus Sklerenchymfasern bestehenden peripherischen Stränge werden jetzt äusserst reducirte Gefässbündel sichtbar. Die Sklerenchymfaserstränge setzen somit im Blatte die Gefässbündelscheiden kleiner Gefässbündel fort, die schon in der Blattscheide erlöschen. Diese Sklerenchymstränge verzweigen sich noch in ihrem weiteren Verlauf.

Man kann leicht constatiren, dass auch bei Cordyline rubra die obersten fertigen Blätter von unfertigen Internodien getragen werden. Das oberste der völlig entfalteten Blätter gehört einem Internodium an, das kaum 2 mm hoch ist und in seinen Gefässbündeln nur fertige Vasal- und Cribralprimanen aufzuweisen hat. Auch hier bleibt die Entwicklung der peripherischen, für die am höchsten entspringenden Blätter bestimmten Gefässbündel hinter denjenigen der innersten, welche tiefer stehenden Blättern angehören, zurück. Ein Theil der inneren Bündel ist annähernd fertig gestellt, bevor die Gefässbildung in den peripherischen anfängt. — Noch sind aber die peripherischen Blattspurstränge gefässlos, da bereits in etwa 10 mm Entfernung vom Scheitel [1]), in der Peripherie des Centralcylinders, dem Pericykel desselben entsprechend, die Bildung neuer Procambiumstränge für stammeigene Bündel beginnt. Man findet dort Zustände, welche die Anlage der Stränge, je nach deren Stärke, auf eine einzige oder auf einige Grundgewebszellen zurückzuführen gestattet [2]). Die Umrisse dieser Ursprungszellen lassen sich noch ziemlich lange unterscheiden. Diese ersten stammeigenen Stränge sind an ihrem oberen Ende mit den äussersten Blattspursträngen verbunden. An dem von mir untersuchten Exemplare war dicht unter der Blattkrone, in 50 mm Entfernung vom Scheitel, der Verdickungsring schon in voller Thätigkeit. Eine einschichtige Initialschicht ist in diesem Verdickungsringe nicht vorhanden. Die Theilungen in den benachbarten radialen Zellreihen treffen nicht auf einander,

---

1) Von früheren Beobachtern werden für andere Dracaenen grössere Entfernungen vom Scheitel angegeben. Vergl. de Bary, Vergl. Anat., p. 636.

2) Vergl. auch Millardet, Mém. d. l. soc. d. sc. nat. de Cherbourg, Bd. XI; de Bary l. c. p. 637.

und man muss nach Einblick in die Vorgänge annehmen, dass auch innerhalb der einzelnen radialen Reihen nicht immer dieselben Zellen als Initialen fungiren [1]). Die neuen Procambiumstränge folgen nach aussen auf die älteren, erscheinen zum Theil auch zwischen dieselben eingereiht. Durch die Theilungsvorgänge zur Anlage der Procambialstränge werden die benachbarten radialen Grundgewebsreihen mehr oder weniger aneinander gedrängt und verbogen. Die Ausbildung der Elemente innerhalb und um die einzelnen Gefässbündel schreitet von innen nach aussen fort, so dass vielfach an dem Innenrande schon fertige Anlagen, mit ihrem äusseren, unfertigen Theile in den Cambiumring hineinragen. Auch alle diese neu hinzukommenden, stammeigenen Bündel anastomosiren in mehr oder weniger schräger Richtung mit nächst inneren; an ihren oberen Enden schliessen sie andererseits nicht blind ab, legen vielmehr an die unteren Enden der Blattspurstränge an. Denn mit dem Dickenwachsthum des Stammes ist ja auch ein continuirliches Scheitelwachsthum desselben verbunden; es greifen die durch diese Thätigkeit des Verdickungsringes hinzukommenden Gewebsmassen am oberen Rande über einander, wie die Ränder über einander gesteckter Hohlcylinder. So kommt es, dass der secundäre Zuwachs bei den Dracaenen dauernd in die unteren Bündelenden der neuen Blätter sich fortsetzen kann, ganz ebenso wie der jährliche Holz- und Bastzuwachs an einem gymnospermen oder dicotylen Baume in die Gefässtheile und Siebtheile der neu entwickelten Sprosse. Der Unterschied besteht hier aber darin, dass es in sich abgeschlossene, mit Gefäss- und Siebtheil versehene Gefässbündel sind, die, nach innen zu vom Verdickungsringe aus erzeugt, an ihrem oberen Ende den Anschluss an Gefäss- und Siebtheil der Blattspurstränge finden. Diese Einrichtung macht in dem Verdickungsringe von Dracaena die Bildung von Gefässbündelelementen nach aussen überflüssig. Der Umstand aber, dass bei Dracaena durch die Thätigkeit des Verdickungsringes neue, immer zahlreicher werdende Leitungsbahnen hinzukommen, ermöglicht eine dauernde Grössenzunahme der Laubkrone. Bei anderen monocotylen Holzgewächsen, welche eines dauernden

1) Vergl. im Uebrigen die inzwischen erschienene Arbeit von Röseler in den Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XX, p. 309, 312.

Dickenwachsthums entbehren, ist auch der Vergrösserung der Laubkrone bald eine Grenze gesetzt. In den ältesten Stämmen von Cordyline, die ich untersuchen konnte, von 12 cm Durchmesser, fand ich noch alle Gefässbündel, auch die innersten, in Thätigkeit, und auch alle Elemente des Grundgewebes noch am Leben. Bis zu welchem Alter sie functionsfähig bleiben, vermag ich somit nicht anzugeben.

Die Zahl der vom Verdickungsringe von Cordyline nach aussen zu gebildeten Elemente, die als Elemente der secundären Rinde zu bezeichnen wären, ist nur gering. Zunächst beschränkt sich die Thätigkeit des Verdickungsringes sogar ausschliesslich auf die Innenseite. Die Zellen der primären Rinde erfahren gleichzeitig tangentiale Dehnung. In 70 bis 80 mm Entfernung unter der Blattkrone stellt sich Korkbildung innerhalb der primären Rinde ein. Erst weiter abwärts, bei fortgesetzter Dickenzunahme und dementsprechender Dehnung der erhalten gebliebenen inneren Zone der primären Rinde, wird vom Verdickungsringe aus für die nöthige Ergänzung des parenchymatischen Rindengewebes gesorgt.

Die Blattspurstränge des Stammes von Cordyline rubra sind amphivasal gebaut. Gegen die Mitte des Centralcylinders findet man vornehmlich stärkere Gefässbündel, deren Gefässtheil reich an schrauben- und treppenförmig verdickten Gefässtracheïden, sowie typischen Tracheïden ist. Echte Gefässe konnte ich hier ebensowenig wie Kny bei Dracaena Draco finden [1]). Die typischen Tracheïden führen hier aber auch die typisch behöften, mit Poren auf der Schliesshaut versehenen Tüpfel. Gegen die Peripherie des primären Centralcylinders, nach dem secundären Zuwachs hin, herrschen schwächere Gefässbündel vor, welchen gefässartig ausgebildete Tracheïden schliesslich ganz fehlen. Diese schwächeren Gefässbündel stellen auch hier die unteren Enden der Blattspurstränge vor, und wie bei Gramineen und Palmen diese Enden schliesslich nur noch Tüpfelgefässe führen, so besitzen sie auch hier als Wasserbahnen nur behöft getüpfelte Elemente, doch, zum Unterschied von den genannten Familien, in Form typischer Tracheïden. — Fassen wir zunächst eines der stärkeren, inneren Gefässbündel näher ins Auge, so finden wir den mehr oder weniger der

---

1) Botanische Wandtafeln, Text p. 341.

Stammmitte zugekehrten Gefässtheil gebildet von Schrauben- und Treppengefässtracheïden, die einzeln oder in Gruppen durch dünnwandiges Vasalparenchym getrennt werden. Am Innenrande des Gefässtheils liegen, in eben solches Parenchym eingebettet, die desorganisirten ring- und schraubenförmig verdickten Vasalprimanen. Die Treppengefässtracheïden gehen an den Flanken des Gefässbündels in behöft getüpfelte Tracheïden über, welche den Siebtheil umschliessen. Getrennt bleibt der Siebtheil von den Wasserbahnen durch eine dünnwandige Schicht von Vasalparenchym, die im Querschnitt kaum von den Elementen des Siebtheils zu unterscheiden ist. Im Siebtheil selbst setzen die engeren Geleitzellen gegen die weiteren Siebröhren ziemlich deutlich ab. Die englumigen Cribralprimanen nehmen, dem amphivasalen Bau des Bündels entsprechend, mehr oder weniger die Mitte des Siebtheils ein. Die den Siebtheil umfassenden Tracheïden grenzen unmittelbar an einander. Umgeben wird das ganze Gefässbündel von einer doppelten Lage ziemlich stark verdickter und verholzter, gestreckt parenchymatischer Scheidenelemente. Die innere Lage derselben ist englumiger. Soweit sie an die Tracheïden grenzt, fällt ihr dieselbe Function wie sonst dem Vasalparenchym zu: sie ist mit diesen Tracheïden durch einseitig behöfte Tüpfel verbunden. Ausserdem sorgt die Scheide in geeigneter Weise für den luftdichten Abschluss der Gefässbündel nach aussen. An dem Aussenrande grosser Bündel springen die Scheidenelemente bis an die Stelle vor, an der die Cribralprimanen liegen. Dann erscheint das Bündel auch mehr oder weniger collateral gebaut. — Diese einspringenden Leisten der Scheide dienen als Durchlassstelle, die im weiteren Abwärtslauf des Bündels schwindet. Die Durchlassstelle bringt aber das umgebende Grundgewebe in Verbindung mit dem den Siebtheil umfassenden Parenchymmantel. — In dem unteren Theile der Gefässbündel ist der Siebtheil von behöft getüpfelten Tracheïden im ganzen Umkreis abgeschlossen. Am Innenrande bleibt bis zuletzt die Zahl der Tracheïden grösser. Vasalprimanen und Gefässtracheïden sind in diesen unteren Gefässbündeltheilen nicht mehr vorhanden; ebensowenig lassen sich Cribralprimanen dort im Siebtheil nachweisen. Das Fehlen der Primanen hängt auch hier mit der späteren Ausbildung der unteren Bündelenden zusammen.

Die durch die Thätigkeit des Verdickungsringes erzeugten

secundären Bündel stellen radial orientirte Stränge aus Tracheïden vor, die in ihrer Mitte nur wenige dünnwandige Elemente einschliessen. Diese dünnwandigen Elemente bestehen aus ein bis zwei Siebröhren nebst ebenso viel Geleitzellen, welche begleitet, respective mehr oder weniger umfasst werden von einigen Elementen des Vasalparenchyms. Stösst eine Tracheïde direct an ein Element des Siebtheils, so fehlen ihr an der betreffenden Seite die Tüpfel. — Die Bündel sind eingebettet in ein Gewebe aus radial etwas gestreckten Zellen, welches die Bezeichnung Markstrahlgewebe verdient. Sie stossen direct an die Tracheïden und stehen jedenfalls in derselben Beziehung zu denselben, wie die Markstrahlzellen der Gymnospermen und Dicotylen. Ihre Gestalt ist auch diejenige von Markstrahlelementen, und in der einseitig behöften Tüpfelung nach den Tracheïden zu, der einfachen Tüpfelung unter einander, stimmen sie ebenfalls mit Markstrahlzellen überein. Nicht minder dienen sie, wie sonst die Markstrahlen, der Durchlüftung des Stammes und zwar durch Vermittlung von Intercellularen, die sie zwischen sich lassen. Ihre Wände sind verholzt, ihr Inhalt äusserst reducirt, doch ist ein dünner, plasmatischer Wandbeleg und ein Zellkern vorhanden. Stärke fand ich in diesen Elementen nicht, vielmehr nur in der Region des Verdickungsringes. In radialen, durch die Ausbildung der Gefässbündel etwas verbogenen Reihen lassen sie sich in gleicher Höhe durch den ganzen secundären Zuwachs verfolgen. Jeder tangentiale Längsschnitt führt andererseits den geschlängelten Verlauf der stammeigenen secundären Bündel und die zahlreichen Verschmelzungen, welche dieselben unter einander eingehen, vor. Die innerhalb der secundären Bündel allseitig von den Tracheïden umschlossenen, vasalparenchymatischen Elemente, Siebröhren und Geleitzellen, zeigen sich stellenweise mit dem secundären Grundgewebe durch einzelne Vasalparenchymzellen verbunden, welche zwischen die Tracheïden eingeschaltet werden. Diese Verbindung reicht augenscheinlich für den Stoffaustausch zwischen dem im Gefässtheil eingeschlossenem Siebtheil und dem Grundgewebe aus.

Innerhalb der Rinde sind die Blattspurstränge von Cordyline rubra noch collateral gebaut und werden amphivasal erst nach Eintritt in den Centralcylinder. Dort erst erhalten sie auch die behöft getüpfelten Tracheïden, und zwar gelangen letztere bei der Anlage des Bündels zuletzt zur Ausbildung.

Im Gegensatz zu Cordyline rubra behalten die Blattspurstränge von Dracaena Draco auch im Centralcylinder collateralen Bau[1]). So ähnlich verhalten sich auch verschiedene andere baumartige Liliaceen, wie denn das Nähere in den Arbeiten von Kny und Röseler[2]) zu vergleichen ist. Mehrere Arten von Cordyline, die ich untersuchte, zeigten hingegen mit Cordyline rubra fast völlige Uebereinstimmung.

Bei Dracaena Draco gelang es Kny ebensowenig, wie mir bei Cordyline, wirkliche Gefässe mit perforirten Querwänden aufzufinden. Es hat somit den Anschein, als wenn Gefässtracheïden und Tracheïden allein hier die Wasserleitung zu besorgen hätten.

Den Angaben von Kny zufolge sollen die Tracheïden des secundären Zuwachses der Dracaenen und Aloïneen durch Zellfusion entstehen[3]). Ich glaubte mich in der zweiten Auflage des botanischen Practicums dieser Angabe anschliessen zu können[4]), dieselbe trifft aber thatsächlich nicht zu. Diese Beobachtung der sehr zartwandigen Gefässbündel-Anlagen auf Längsschnitten bereitet hier eben nicht unbedeutende Schwierigkeiten und führt leicht zu Täuschungen. Bei entsprechender Tinction der Präparate, am besten mit sehr diluirtem Hämatoxylin, habe ich mich aber sicher überzeugen können, dass die Tracheïden auch hier durch directe Verlängerung aus den kurzen, vom Verdickungsringe aus erzeugten Elementen hervorgehen. Diese kurzen Elemente wachsen an ihren beiden Enden aus und drängen sich zwischen die höher und tiefer gelegenen Zellen ein. Die Zahl solcher Elemente ist innerhalb desselben Stockwerks aber stets nur gering. Die Angabe über Mehrkernigkeit der jungen Tracheïden trifft aber nicht zu. Mit Hämatoxilin tingirte Schnitte stellen das ganz sicher. Das stimmt zu den Angaben, welche Röseler über die Entwicklung der Tracheïden baumartiger Lilien machte, indem sich Röseler

---

1) Kny l. c. p. 340 und Holzschnitt ebendas.

2) Das Dickenwachsthum und die Entwicklungsgeschichte der secundären Gefässbündel bei den baumartigen Lilien, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XX, 1889, p. 292.

3) Ein Beitrag zur Entwicklungsgeschichte der Tracheïden, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1886, p. 267, und Botanische Wandtafeln, Text p. 349.

4) l. c. p. 125.

bereits auf Grund von Berechnung und directer Beobachtung gegen den mehrzelligen Ursprung dieser Tracheïden aussprach [1]). Ebenso ist die Angabe von Röseler zutreffend, dass weder in jungen noch in fertigen Tracheïden sich etwas von Resten oder Spuren von Ansatzstellen früherer Querwände nachweisen lässt [2]).

Die Nebenwurzeln von Cordyline rubra zeigen im Centralcylinder kleine Gruppen schrauben- bis netzförmig verdickter Gefässtracheïden, respective Gefässe, die mit kräftigen Siebtheilen alterniren. Diese Gefäss- und Siebtheilstrahlen sind von innen her von stark verdickten, sklerenchymfaserähnlichen Grundgewebselementen umfasst. Grössere echte, mit durchlöcherten Querwänden versehene Gefässe folgen, nach innen in Richtung der Radien, auf die äusseren kleinen, sind aber von denselben und meist auch von einander völlig getrennt und ebenfalls in verdickte Sklerenchymfasern gebettet. Die unmittelbar die grossen Gefässe umgebenden Elemente unterscheiden sich nur von ihren Nachbarn durch abweichende Verdickung an der Gefässseite und durch stellenweise Fächerung. Nach innen zu hört das verdickte Grundgewebe ziemlich plötzlich auf, um ein parenchymatisches, weitlumiges, dünnwandiges und unverholztes, kleine mit Luft erfüllte Intercellularen führendes Mark zu bilden. Der ein- bis zweischichtige Pericykel ist vor den Gefässtheilen dünnwandig, vor den Siebtheilen stärker verdickt. Die Zellen der innersten, in charakteristischer Weise als Endodermis ausgebildeten Rindenschicht zeigen in nicht zu alten Wurzeln gleichmässige, nicht eben starke Verdickung und sind im ganzen Umfang cutinisirt. Das radiale Band tritt nichtsdestoweniger nach Schwefelsäurebehandlung vor, und die Entwicklungsgeschichte lehrt, dass dessen Bildung und Cutinisirung der Verdickung und Cutinisirung der übrigen Endodermiswände vorausgeht. Eine parenchymatische, von Intercellularen durchsetzte innere Rinde folgt auf die Endodermis; in der Peripherie schliessen die Rindenzellen fest zusammen und sind cutinisirt. Auf Längsschnitten ist leicht zu constatiren, dass alle die sklerenchymatischen Elemente des Centralcylinders plasmatischen, wenn auch sehr reducirten Inhalt führen, und

1) l. c. p. 319 ff.
2) l. c. p. 339.

dass eine Annäherung in der Form an die Elemente des centralen Markes insofern vorliegt, als gegen dasselbe hin die verdickten Elemente kürzer werden und mit weniger schrägen Wänden auf einander stossen. Die Tüpfel der Sklerenchymfasern sind am Grunde oft etwas erweitert. Sehr porös zeigen sich auch, soweit verdickt, die Pericykelzellen.

Auf das merkwürdige Verhalten der Luftwurzeln von Dracaena reflexa bei Beginn des Dickenwachsthums habe ich bereits in der ersten Auflage meines „botanischen Practicums" hingewiesen [1]). Dieses Verhalten ist in der That sehr eigenartig. — In der älteren Wurzel, kurz vor Beginn des Dickenwachsthums, zeigt sich die Endodermis nach innen zu stark U-förmig verdickt und fällt durch ihre gelbe Färbung und ihren stärkeren Glanz auf. Es folgt ihr nach innen der ein- bis zweischichtige Pericykel, dessen Elemente etwas verdickt worden sind und weite Tüpfel aufweisen. Eng an einander gedrängt wechseln weiterhin Gefässtheile mit den radial gestreckten Siebtheilen ab. In letzteren ist wiederum die Grössenabnahme der Elemente gegen die Peripherie ganz auffallend. Die an Weite zunehmenden Gefässe schliessen meist direct an einander; die innersten derselben erscheinen aber auch häufig von den vorausgehenden getrennt und rücken alsdann weiter nach innen. Die peripherischen Gefässe und Siebtheile werden umfasst von stark verdickten, gelblichen, sklerenchymatischen Grundgewebselementen, die ebenso wie bei Cordyline rubra gebaut sind. Die unmittelbar die Gefässe umschliessende Zellschicht zeichnet sich hier aber, schon im Querschnitt, durch weiteres Lumen und schwächere Verdickung aus. Besonders auffallend wird der Unterschied nach Färbung mit Safranin. Im Längsschnitt sind dieselben Elemente nicht nur durch die abweichende, nach den Gefässen sich richtende Verdickung, sondern auch durch häufige Fächerung ausgezeichnet. Jedes der sklerenchymfaserähnlichen Elemente wird auf diese Weise in eine Anzahl über einander liegender Zellen zerlegt. Wir haben hier eine neue Mittelform von Grundgewebselementen und Vasalparenchym vor uns. Das Mark ist dünnwandig oder nur schwach verdickt und alsdann sehr porös. Wie bei Cordyline rubra sind die verdickten Grundgewebszellen scharf gegen das Mark abgesetzt und springen,

---

1) p. 202, 1884.

den Gefässstrahlen entsprechend, in dasselbe vor. Die Markzellen bilden zwischen sich nicht unansehnliche, mit Luft erfüllte Intercellularen, die wir ja auch bei Cordyline rubra fanden, die aber, im Ganzen genommen, im Centralcylinder von Wurzeln nicht sehr verbreitet sind. So auch findet man hier, was sonst ebenfalls in Wurzeln nicht häufig, Raphidenbündel im Marke vor. — Das Mark hat bedeutende Ausdehnung, und man sieht in demselben isolirte Gefäss- und Siebtheil-Stränge verlaufen, die von Sklerenchymfasern stark umscheidet und so von dem lufthaltigen umgebenden Gewebe dicht abgeschlossen werden. Die Gefässe sind in Einzahl in einem solchen Gefässtheil-Strange vertreten, oder sie bilden in demselben eine kleine Gruppe; auch kommen wohl zwei getrennte Gefässe oder Gefässgruppen im inneren Strange vor. Die Zahl der gleichzeitig eingeschlossenen, wenn auch von den Gefässtheilen völlig getrennten Siebtheile, richtet sich doch nach der Zahl der ersteren. Diese Gefäss- und Siebtheile gehören in der That zu einander, denn sie vereinigen sich zu je einem collateralen Bündel beim Eintritt in den Stamm. Auch um die Gefässe dieser markständigen Stränge zeichnet sich die vasalparenchymatische Belegschicht deutlich aus, und fällt andererseits in den Siebtheil-Strängen auf, dass deren relativ grosse Siebröhren direct aneinander grenzen und ihre englumigen Geleitzellen nach der Peripherie des Stranges kehren. Dasselbe Verhalten gilt auch für die grösseren Siebröhren, welche den Innenrand der peripherischen Siebtheile des Centralcylinders einnehmen.

Das secundäre Dickenwachsthum der Wurzel beginnt mit tangentialen Theilungen im Pericykel. Da dieser Vorgang sich nicht gleichzeitig im ganzen Umfang der Wurzel einstellt, vielmehr an der aufwärts gekehrten Seite derselben beginnt, so bekommt man leicht instructive Querschnittsbilder, welche alle Stadien des anhebenden Dickenwachsthums vorführen. Der Pericykel wird zunächst in radiale Zellreihen zerlegt, die nicht anders als das Gewebe des Verdickungsringes im Pericykel des Centralcylinders des Stammes aussehen; in diesem Verdickungsring beginnt alsbald die Bildung von Gefässbündeln. Die Endodermis wird durch diese Dickenzunahme des Centralcylinders in Spannung versetzt und alsbald an verschiedenen Stellen gesprengt. Statt nun aber mit der begonnenen Entwicklung einzuhalten, springt die Cambiumschicht auf die Aussenseite

der Endodermis alsbald über. Es geschieht das in der Art, dass die innere Cambiumschicht ihre Thätigkeit einstellt, während sich ein neuer Verdickungsring, durch tangentiale Theilungen, aus der unmittelbar an die Endodermis nach aussen grenzenden Rindenschicht herausbildet. So erhalten wir alsbald Bilder, wie Fig. 45, Taf. V, die uns die neu erzeugten Gefässbündel, sowohl auf der Innenseite wie der Aussenseite der Endodermis, vorführen. An den Stellen, an welchen die Endodermis gesprengt wurde, sind die secundär verengten Grundgewebselemente in solcher Weise verwachsen, dass keinerlei Trennungslinie zu erkennen ist. Die secundär erzeugten Gefässbündel der Wurzel haben durchaus den nämlichen Bau wie die secundär erzeugten Gefässbündel die wir im Stamm von Cordyline rubra eingehend studirten. Diese Gefässtheile der secundären Bündel setzen an ihrem Ende seitlich an die beiden benachbarten primären Gefässtheile an. Sie schliessen dann zunächst von aussen, dann auch von innen um einen Siebtheil zusammen, den man von einem primären Siebtheil ausgehen sieht. Zwischen den gesprengten Stücken der Endodermis hindurch verlaufen die Gefässbündel nach aussen. Selbst in Wurzeln, deren Dickenwachsthum schon längere Zeit andauert, lassen sich die zersprengten, zum Theil ganz vereinzelten Elemente der Endodermis innerhalb des secundären Gewebes wiederfinden. Schliesslich werden aber ihre Verdickungsschichten resorbirt und sie selbst dadurch unkenntlich gemacht. — Das secundäre Dickenwachsthum bleibt dauernd an der aufwärts gekehrten Seite der Wurzel gefördert, so dass die Wurzel stark epinastisch ist. Ich habe an einer Wurzel von 25 mm Durchmesser den oberen secundären Zuwachs auf 10 mm, den unteren auf 2 mm bestimmt.

Ganz unbeachtet war dieses eigenartige Verhalten der Dracaenen-Wurzeln bei Beginn des secundären Wachsthums nicht geblieben. Ich finde eine Angabe von Morot in dessen Aufsatz über den Pericykel, die so lautet[1]): Les faisceaux surnuméraires de la racine des Dracaena, qui normalement sont d'origine péricyclique, peuvent aussi prendre naissance dans l'écorce. Du moins, j'en ai observé des exemples chez le

1) Recherches sur le péricycle, Ann. des sc. nat. Bot., 6. sér., T. XX, p. 248.

D. reflexa et le D. marginata. C'est ainsi qu'une racine du premier, de 20 à 25 millimètres de diamètre, présentait en dehors d'un endoderme à membranes fortement épaissies sur toute son étendue, un parenchyme cortical secondaire abondant, parcouru par de nombreux faisceaux. Le péricycle, au contraire, ne s'était que peu multiplié, et sur une partie seulement de son contour. — Sur un autre échantillon de la même espèce et dans une racine de D. marginata, j'ai vu l'endoderme lui-même se cloisonner par places.

Wie ich hoffe, ergänzen meine Untersuchungen diese Morotschen Angaben in willkommener Weise. Dass in diesem Falle der Verdickungsring auch ausserhalb des Pericykels seinen Ursprung finden kann, ist in der That eine seltene Ausnahme von einer sonst allgemein giltigen Regel, die seine Entwicklung an den Pericykel bindet. Dieser Fall lehrt eben von neuem, dass die morphologischen Regeln nicht an sich unveränderliche, sondern nur durch Erblichkeit fixirte Grössen vorstellen, die eben auch überschritten werden können, da durch dieselben der Variation nicht von vornherein Grenzen gesetzt sind.

Gewisse, auf Wurzeln bezügliche Fragen glaubte ich am besten durch Untersuchung der Aroïdeen-Luftwurzeln beantworten zu können, da diese Wurzeln eine sehr bedeutende Länge ohne secundäres Dickenwachsthum erreichen und so dauernd relativ einfache Verhältnisse der Beobachtung bieten. Ich schalte dies an dieser Stelle im Anschluss an die Dracaenen-Wurzeln ein.

Die positiv geotropischen Luftwurzeln (Nährwurzeln) von Monstera deliciosa zeigen im Centralcylinder ausser den peripherischen Gefäss- und Siebtheilen in dem verdickten, inneren Grundgewebe noch isolirte weite Gefässe sammt Vasalparenchymbelegen und kleinere, auf einige Siebröhren und Geleitzellen reducirte Siebtheile. Es kann ein solcher innerer Siebtheil bis auf eine einzige Siebröhre und ihre Geleitzellen zurückgehen, und es kommen sogar Wurzeln vor, wo dies die Regel ist. Die Siebröhren der inneren Siebtheile sind bedeutend weitlumiger als diejenigen der peripherischen. In letzteren nimmt ausserdem noch die Grösse der Elemente von innen nach aussen ab, so dass schliesslich Siebröhren und Ge-

leitzellen sich kaum mehr unterscheiden lassen. Die grösseren Gefässe sind quer getüpfelt, sie bestehen aus sehr langen Gliedern, die mit stark geneigten Terminalwänden auf einander stossen. Diese Terminalwände zeigen sich von zahlreichen queren Löchern durchbrochen, so dass sie eine Leiter mit vielen Sprossen bilden. Stellenweise stösst man auf eine Terminalwand, die ebenso wie die anderen gestaltet, doch durch eine äusserst zarte, daher schwer wahrnehmbare, zwischen den Sprossen ausgespannte primäre Membran abgeschlossen ist. — Die Verdickung der Grundgewebselemente des Centralcylinders reicht nicht bis zum äusseren Siebtheil. — Sehr in die Augen fällt im Querschnitt dieser Wurzeln die ein- bis zweischichtige, aus ellipsoidischen, grossporigen Zellen gebildete, den Centralcylinder umgebende Sklerenchymscheide, die man auf den ersten Blick geneigt sein könnte, für die Endodermis zu halten. Anwendung von Schwefelsäure lehrt aber sofort, dass die Endodermis (*e*, Taf. V, Fig. 48)[1]) hier dünnwandig ist, wie immer nur einschichtig, mit den in bekannter Weise cutinisirten Bändern an den Radialwänden versehen. Dadurch wird auch das scheinbar mehrschichtige Pericambium fast durchweg einschichtig, und die Endodermis zeigt sich noch durch zwei unverdickte Zellschichten von der porösen Sklerenchymscheide, die eine „Stützscheide" oder „Verstärkungsscheide" bildet, getrennt. Für die mechanische Festigkeit der Wurzel und den Schutz des Centralcylinders haben hier diese Stützscheide und die collenchymatischen Verdickungen der Rindenzellen zu sorgen, nicht die Endodermis. Da ihr letztere Function hier nicht zufällt, auch nicht zufallen soll, so bleibt sie auch dauernd dünnwandig, cutinisirt nur an den radialen Wänden. So zeigt denn dieses Beispiel in sehr instructiver Weise, wie hier zwischen zwei verschiedenen Functionen der Endodermis unterschieden werden muss, derjenigen, die sie vermöge ihres cutinisirten Bandes ausübt, und derjenigen, die ihr weiterhin etwa noch durch Verdickung ihrer Wände zugetheilt wird. Schwendener spricht der Cutinisirung der Radialwände der Endodermis eine mechanische Bedeutung zu. Durch die Verkorkung soll deren Dehnbarkeit

1) Vergl. auch das Bild bei Reinhardt, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVI, Taf. XI, Fig. 2.

vermindert und zugleich die absolute Festigkeit erhöht werden[1]). Meiner Auffassung nach hat hingegen der cutinisirte Streifen innerhalb der Radialwände insofern nur eine mechanische Bedeutung, als er die Endodermiszellen in feste gegenseitige Verbindung bringen und verhindern soll, dass diese Zellen in irgend einem Punkte auseinandertreten und einen radialen Intercellulargang zwischen sich bilden. So wie die Gefässbündelscheiden einzelne Bündel, soll die Endodermis den ganzen axilen Cylinder der Wurzel gegen die Intercellularen der Rinde abschliessen. Diese Intercellularen setzen hier, wie meist auch in anderen Fällen, direct von aussen an die Endodermis an, und es ist festzustellen, dass sie auch die Stützscheide passiren. Dass nun die innerste Rindenschicht, die Endodermis, trotz der Dehnung, die sie erfährt, nicht Intercellularen erhält, ist einzig und allein der festen seitlichen Verbindung zu danken, welche ihre Zellen durch Ausbildung des cutinisirten Bandes erlangen. Dass dieses Band aber nur einen schmalen Streifen der radialen Wände der Endodermis und nicht deren ganze Breite einnimmt, bietet den Vortheil, dass eine Dehnung dieser Zellen, bis auf die Breite des cutinisirten Streifens hin, möglich bleibt. Man kann in der That bei Monstera vielfach constatiren, dass die Endodermiszellen wirklich bis zu dieser äussersten Grenze hin gedehnt werden können und doch der Breite des cutinisirten Bandes entsprechend intercellularfrei zusammenhängen. Dies ist aber unter diesen Umständen nur dadurch möglich, dass die Cutinisirung durch die ganze Dicke der primären Wandung der Endodermiszellen reicht, und das Band dadurch ein einheitliches Membranstück zwischen den zusammenhängenden Endodermiszellen bildet. Würde hier, wie im Korkgewebe, die Cutinisirung zu beiden Seiten einer verholzten Mittellamelle erfolgen, so würde sie wenig zur Erhöhung des Zusammenhanges zwischen den Endodermiszellen beitragen. — Dass diese Art der lückenlos festen Verbindung zwischen den Endodermiszellen der Wurzel zur Herrschaft gelangte, erklärt sich aus dem Umstande, dass es galt, die Endodermiszellen gleichzeitig an ihren tangentialen Wänden durchlässig für Flüssigkeiten zu erhalten. In dem vorliegenden Falle bleibt diese Permeabilität im ganzen

---

1) Die Schutzscheiden und ihre Verstärkungen, Abh. d. kgl. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1882, p. 42 des Sep.-Abdr.

Umfange der Endodermis auch im späteren Alter erhalten, während die Aufgabe des mechanischen Schutzes des Centralcylinders von einer besonderen Rindenzellschicht, der porösen Verdickungsscheide, übernommen wird. Gewöhnlich tritt die Endodermis auch in diese zweite Aufgabe früher oder später selbst ein und verdickt, je nachdem, entweder nur ihre vor den Siebtheilen gelegenen Elemente, oder alle Elemente mit Ausnahme einzelner Durchlasszellen, oder endlich die sämmtlichen Elemente ohne Ausnahme. — An der Oberfläche wird die Wurzel von Monstera alsbald wirksam durch eine Korkschicht abgeschlossen, deren äussere Zellreihen stark verdickt erscheinen. Die auf die Stützscheide nach aussen folgende Zellschicht führt öfters grosse Einzelkrystalle von Calciumoxalat; ausserdem sind kleine Krystalle in zahlreichen Rindenzellen zu sehen, dann auch vereinzelt Raphidenbündel. In den Intercellularräumen, vornehmlich der mittleren Rinde, sind Intercellularhaare vertreten. Es handelt sich hierbei um diese eigenen, auch als Spicularzellen bezeichneten Gebilde, welche einer ganzen Reihe von Aroïdeen-Genera zukommen [1]). Die Basalzellen der Intercellularhaare in der Wurzel von Monstera sind kurz, scheibenförmig, in die Reihen der gestreckten, dünnwandigen Rindenzellen eingeschaltet. Sie wachsen für gewöhnlich nur an einer Seite haarförmig nach oben und unten in den Intercellulargang aus. Die Längsschnitte führen dementsprechend sklerenchymfaserähnliche Gebilde zwischen den Rindenzellen vor, die annähernd in ihrer Mitte an dem Rande einer kurzen Insertionsscheibe befestigt sind. Der sklerenchymfaserähnliche Theil, wie die Insertionsscheibe, erscheinen gleich stark verdickt und bilden ein einheitliches Lumen. Dass die ziemlich weit auseinanderstehenden, den Intercellulargang durchaus nicht ausfüllenden und zwischen dünnwandigen Elementen vertheilten Spicularzellen die Festigkeit des Gewebes hier erhöhen sollten, erscheint wenig wahrscheinlich, und soweit ich dies zu übersehen vermag, ist ihnen eine solche Aufgabe nur in den seltensten Fällen bei den Aroïdeen zugefallen. Es handelte sich allem

---

1) Vergl. die Litteratur bei Engler und Prantl, Die natürlichen Pflanzenfamilien, II. Theil, 3. Abth., p. 106. Ueber die Vertretung der Spicularzellen in den Aroïdeenwurzeln vergl. Lierau, Ueber die Wurzeln der Araceen, in: Engler's Bot. Jahrbücher für Systematik, Bd. IX, 1888, p. 17.

Anschein nach zunächst darum, einen Ueberschuss aus Membranstoff abzulagern, und dies geschah hier in eben der geschilderten Form. Für die Wurzel der Monstera hatte aber diese Art der Ablagerung den ganz bestimmten Vortheil, dass sie die erwünschte Biegsamkeit derselben nicht beeinträchtigte. Es wurden hier also an sich mechanisch wirksame Elemente erzeugt, deren mechanische Wirksamkeit aber gleichzeitig, durch Trennung derselben von den benachbarten Elementen, aufgehoben [1]). Eben derselben Trennung ist es zu danken, dass diese frühzeitig auftretenden und sich alsbald verdickenden Elemente dem Längenwachsthum der Wurzel nicht hinderlich werden. In welchem Maasse die hier angeführten Vortheile auch für andere Glieder des Aroïdeenkörpers gelten, mag dahingestellt bleiben; ebenso die Frage, ob die Spicularzellen nicht etwa Schutz gegen Thierfrass gewähren. Ich begnüge mich auf diese Möglichkeiten hinzuweisen.

Es war von Wichtigkeit, festzustellen, auf welchem Entwicklungszustande die Bildung des radialen Verschlussbandes an den Endodermiszellen beginnt, und ob diese Anlage nicht mit dem Eintritt der Wasserbahnen in ihre Function zusammenfalle. Das ist nun in der That der Fall, wie ein Blick auf unsere Fig. 47, Taf. V, schon lehrt. In einer bestimmten Wurzel wurde das Auftreten der charakteristischen Streifung der Radialwände der Endodermis, nach Schwefelsäurebehandlung, in genau 8 mm Entfernung vom Vegetationspunkt constatirt, und das war auch der Ort, in welchem die ersten Gefässtracheïden fertiggestellt sich zeigten. In anderen Wurzeln fand sich das Gleiche, annähernd an derselben Stelle. In dem ersten, besonders ins Auge gefassten Fall hatte der Centralcylinder, die Endodermis inbegriffen, gleichzeitig einen Durchmesser von 1 mm erreicht. Jenseits der Endodermis hatte bereits, wie unsere Abbildung zeigt, die Anlage der Intercellularen begonnen, wenn dieselben auch noch keine Luft enthielten. 3 mm weiter von der Spitze war die Ausbildung der dunklen Schatten an den Radialwänden der Endodermis ohne Anwendung von Reagentien sehr deutlich. Die Mittellamelle erwies sich an der betreffenden

---

1) Die Spicularzellen kommen den Wurzeln nur einer relativ geringen Anzahl von Arten der zweiten Gruppe der Monsteroideen: der Monstereae, zu, vergl. Lierau, l. c. p. 17.

Stelle schon merklich cutinisirt, resistenter gegen Schwefelsäure. Der Durchmesser des Centralcylinders, sammt Endodermis, war auf 1,11 mm angewachsen. Erst in 135 mm Entfernung von der Wurzelspitze begann die Verdickung der Wände einzelner Zellen in der Stützscheide, nachdem der Centralcylinder sammt Endodermis einen Durchmesser von 1,17 mm erlangt hatte. In 200 mm Entfernung vom Scheitel fand ich endlich die Stützscheide völlig ausgebildet, während der Centralcylinder sammt Endodermis einen Durchmesser von 1,5 mm besass. Die inneren Gefässe waren immer noch nicht fertiggestellt, daher einige Dickenzunahme des Centralcylinders noch zu erwarten. Während dieser Vorgänge nimmt der Durchmesser der Endodermiszellen, wie der Vergleich der Figuren 47 und 48, Taf. V lehrt, merklich, doch nicht eben bedeutend zu; mit Ueberraschung constatirte ich andererseits, dass die Endodermiszellen zugleich kürzer werden. Es hängt das damit zusammen, dass sich diese Zellen durch Querwände zu theilen fortfahren, auch nachdem die radialen Bänder in denselben zur Ausbildung kamen und sogar schon schwach cutinisirten. Ja selbst noch in 30 mm Entfernung von der Wurzelspitze sind Theilungszustände anzutreffen. Die jungen Scheidewände setzen in gewohnter Weise an die Mutterzellwände an, und alsbald beginnt auch in ihnen die Verdickung und Cutinisirung eines medianen Streifens. Dieser Streifen setzt an die bereits ausgebildeten der Mutterzellwand an. Bei Behandlung der Präparate mit verdünnter Schwefelsäure erfolgt eine Contraction des Protoplasmaschlauches in den jungen Endodermiszellen, und bleibt derselbe nur fest an dem dem radialen Bande entsprechenden Membranstreifen haften. — Auch die Anlage der Spicularzellen beginnt nicht weit von der Wurzelspitze, bald nachdem die Intercellularen der Rinde in die Erscheinung getreten sind. In 70 mm Entfernung von der Spitze waren in der betreffenden Wurzel diese Haare auch schon fertig verdickt. — Im Scheitel der Wurzel werden die Raphidenbündel ausgebildet an den Orten der lebhaftesten Zellbildung. Weiterhin erfahren die raphidenhaltigen Zellen eine sehr bedeutende Streckung; neue kommen nicht mehr hinzu. Wohl aber treten in Rindenzellen nunmehr kleine Calciumoxalatkrystalle auf, und deren Zahl nimmt zu, solange als die Streckung und Verdickung der Rindenzellen andauert. Die grossen Einzelkrystalle an der Stützscheide werden dann über-

haupt während der Verdickung der Scheidenzellen gebildet. — Wie schon von anderer Seite, so neuerdings von Lierau[1]) angegeben wurde, erhalten die Wurzeln von Monstera nur ein einschichtiges „Velamen", unter welchem die der Exodermis anderer mit mehrschichtigem Velamen versehener Aroideen entsprechende, nur wenig abgesetzte Zellschicht liegt. Das einschichtige „Velamen" von Monstera ist also eigentlich nur eine einfache Epidermis, die aber hier alsbald vertrocknet und abgeworfen wird. Hierauf geht auch die Exodermis zu Grunde und wird durch Korkbildungen ersetzt. — Bei besonders langsamem Wachsthum der Wurzelspitze rücken die zuvor geschilderten Differenzirungen näher an dieselbe heran, und kam mir beispielsweise eine Wurzel vor, welche, in 10 mm Entfernung vom Vegetationspunkte, die Spicularzellen bereits fertig verdickt zeigte.

In einer Wurzel von Monstera deliciosa, die an ihrem unteren Ende abgestorben war, fand ich sehr schöne Thyllen. Die Gefässe waren durch das Zusammenschliessen der Thyllen an manchen Orten vollständig verstopft. Die Thyllen bleiben meist dünnwandig; es kamen aber auch papillenartig in ein Gefäss hineinragende Thyllen zur Beobachtung, die ihre Wände schön netzförmig verdickt hatten. Solche Papillen konnten sogar zweizellig werden, wodurch die keulenförmige Papille einen Stiel erhielt. Es war leicht nachzuweisen, dass der Zellkern der holzparenchymatischen Belegzelle durch den Tüpfel in die Ausstülpung hineingewandert war, und dass somit auch hier die Theilung nicht ohne Betheiligung desselben erfolgte. Auch in den glattwandigen Thyllen liess sich der Zellkern meist auffinden und nicht selten eine Theilung desselben fixiren. Ebenso waren die Chromatophoren in die Thyllen eingewandert und hatten eine oft ergiebige Bildung der charakteristischen, zusammengesetzten Stärkekörner veranlasst.

Diese Fähigkeit der Thyllenbildung in den Gefässen der Wurzel ist auf Monstera nicht beschränkt, ich beobachtete dieselbe in gleicher Weise an Wurzelstumpfen von Philodendron-Arten.

Monstera deliciosa ist eine im Boden keimende Kletterpflanze, deren Stamm später von hinten abstirbt und die befähigt ist, nach Bedürfniss ihre Wurzeln als Nähr- oder Haft-

---

1) l. c. p. 20.

wurzeln auszubilden. Auf das verschiedene Verhalten solcher Wurzeln hat Schimper zuerst hingewiesen und dasselbe für verschiedene Epiphyten Westindiens, darunter besonders auch Araceen, beschrieben [1]). An den von Lierau untersuchten Exemplaren von Monstera deliciosa war der Unterschied im Bau der Haft- und Nährwurzeln ziemlich ausgeprägt. In den, die Pflanze an dem Substrat befestigenden, diesem angeschmiegten, relativ kurz bleibenden, rasch verholzenden Haftwurzeln, betrug der Durchmesser des Centralcylinders nur ein Drittel desjenigen der ganzen Wurzel; in den nach dem Boden zu, gerade abwärts wachsenden Nährwurzeln die Hälfte. Auch waren in dem Centralcylinder der Haftwurzeln Gefässe und Siebröhren wesentlich englumiger und liessen ein centrales sklerotisches Mark frei, während in den Nährwurzeln Gefässe und Siebröhren sich weitlumiger zeigten und ein freies Mark nicht vorhanden war [2]).

Das theoretisch für uns Wichtige habe ich an die Schilderung der Monstera-Wurzel anknüpfen können und gehe daher auf andere Aroideen-Wurzeln nicht mehr im Einzelnen ein [3]). Nur Einiges sei noch hervorgehoben. Die Scheidewände, mit welchen die grossen Gefässe aufeinander stossen, fand ich bei allen untersuchten Wurzeln der Philodendreen stark geneigt und leiterförmig verdickt. In dem Vorhandensein oder dem Fehlen der Schliesshäute zeigten sich aber Unterschiede. Stets erhalten fand ich die zarten Schliesshäute zwischen den Leisten bei Philodendron erubescens E. Koch und Philodendron pinnatifidum Schott., fast stets erhalten bei Philodendron bipinnatifidum Schott.; in einem Theile der Scheidenwände resorbirt waren sie bei einem zu der Section Baursia gehörenden Philodendron, das ich der Güte des Herrn Prof. Schimper verdanke und dessen Nährwurzeln von den höchsten Bäumen des tropischen Urwaldes bis zum Boden reichen. Nur ausnahmsweise waren die Schliesshäute in den bis 5 m langen Wurzeln eines kräftigen Exemplars von Philodendron grandifolium Schott.

---

1) Ueber Bau und Lebensweise der Epiphyten Westindiens, Bot. Centralbl., Bd. XVII, 1884, p. 288, und: Die epiphytische Vegetation Amerikas, 1888, p. 55.

2) l. c. p. 19.

3) Hierfür verweise ich auf die speciell diesen Gegenstand behandelnde Arbeit von Lierau.

nachzuweisen. Auch in den Haftwurzeln des Schimper'schen Philodendrons war ein Verschluss der Scheidewände, im Gegensatz zu den Nährwurzeln, nur selten. Ebenso geneigt und leiterförmig durchbrochen waren die Scheidewände der Tüpfelgefässe in den Luftwurzeln von Anthurium Laucheanum und den Bodenwurzeln von Zantedeschia aethiopica (L.) Sprengel, und in beiden Fällen die Schliesshäute erhalten. Diese Schliesshäute sind, wie schon erwähnt, stets sehr zart, so dass sie in manchen Fällen nur schwer sich nachweisen lassen, dabei jedenfalls auch immer sehr weich und in manchen Fällen, wie bei Anthurium Laucheanum, deutlich gequollen. Ein besonderer Verschluss der Scheidewände etwa durch Hoftüpfel, dort wo die Gefässe so lange fortlaufende Röhren wie in diesen Wurzeln bilden, hat sich somit nicht als nothwendig erwiesen. Ebenso zeigte sich das Vorhandensein oder Fehlen der zarten Schliesshäute an den Scheidewänden als von der Länge der Wurzeln unabhängig. In sämmtlichen diesen Wurzeln waren aber die Scheidewände von nur relativ engen Oeffnungen durchbrochen.

Der Durchmesser der Haftwurzeln des Schimper'schen Philodendron verhält sich zu demjenigen der Nährwurzeln etwa wie 2 zu 3. Die Gefässe und Siebröhren zeigten sich im Verhältniss kleiner, und reichten erstere weniger tief in das Grundgewebe des Centralcylinders hinein. Dieses Grundgewebe war im Gegensatz zu den Nährwurzeln stark verdickt; seine verdickten Elemente griffen zwischen den Gefäss- und Siebtheilen bis an die Endodermis vor. Ebenso stark verdickt erschienen auch die Endodermiszellen vor den Siebtheilen, während die Nährwurzel nur dünnwandige Endodermis hatte. Bei der Nährwurzel fehlte auch eine Verstärkungsscheide, während in der Haftwurzel die zwei bis drei auf die Endodermis folgenden Rindenschichten sich durch stärkere Verdickung auszeichneten. Die Zahl der in die Rinde eingeschalteten Balsamgänge war grösser als in der Nährwurzel, die Gänge selbst aber enger. Auch zeigten sich diese Balsamgänge, abgesehen von den innersten stets dünnwandig bleibenden, von mehreren Schichten stark verdickter Sklerenchymfasern umgeben [1]), während alle

1) Ueber diese Scheiden der Secretkanäle der Philodendronwurzeln vergl. Möbius in „Die mechanischen Scheiden der Secretbehälter", Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVI, p. 279.

diese Sklerenchymfasern in der Nährwurzel sich nur schwach, oder auch gar nicht verdicken. Fast übereinstimmend bei Haft- wie bei Nährwurzeln zeigt sich das auf die Exodermis folgende, aus gefächerten, sklerenchymfaserähnlichen Elementen gebildete Hypoderm, welches für die Nährwurzeln überhaupt das einzige stark verdickte Gewebe repräsentirt.

Bei Philodendron erubescens bleibt die Endodermis vor den Gefässtheilen sehr lange, eventuell dauernd dünnwandig, der Siebtheil wird nie verdickt. Eine doppelte Schicht verdickter und poröser, an die Endodermis unmittelbar anschliessender Rindenzellen umfasst als Stützscheide die ganze Endodermis. Ebenso im Wesentlichen ist es bei Philodendron grandifolium, und wird auch bei beiden die Oberfläche älterer Wurzeln von einer dickwandigen Sklerenchymfaserschicht und einer, an diese nach innen anschliessenden, dünnwandigen Korkschicht bedeckt. Auch Philodendron pinnatifidum weicht in dem genannten Verhalten von den beiden vorhergehenden nicht ab; bei Philodendron bipinnatifidum fand ich hingegen selbst an ganz alten, bis 18 mm dicken, mit fünfstrahlig gebuchtetem Centralcylinder versehenen Wurzeln die Endodermis ohne Stützscheide und selbst relativ nicht stark verdickt, dafür eine starke Kork- und Sklerenchymfaserhülle an der Oberfläche.

Die Luftwurzeln von Anthurium Laucheanum führe ich hier auch noch besonders an, weil in denselben, so wie dies Schwendener bereits für Anthurien angiebt, die Siebtheile, in einer sonst nicht eben häufigen Weise, durch Sklerenchymfasern, die der Endodermis anliegen, geschützt werden. Die ganze Endodermis ist zunächst dünnwandig. Sie erscheint im ganzen Umkreis des Centralcylinders gleichmässig entwickelt, mit den dunklen Streifen an den Radialwänden versehen. An diese Endodermis lehnen nun frühzeitig, vor den Siebtheilen, Sklerenchymfaserstränge an; entweder erreichen sie sofort die Endodermis, oder bleiben von ihr zunächst durch eine noch unverdickte Zellschicht getrennt. Erst wenn die Dickenzunahme des Centralcylinders vollendet ist, werden auch die Endodermiszellen im Bereich der Basttheile verdickt. Eine ähnliche, doch etwas geringere Verdickung erfahren schliesslich auch die Zellen des Pericambiums und das übrige Grundgewebe zwischen den Gefäss- und Siebtheilen [1]). Der Zugang von aussen zu den Gefässen

1) So kommt das Bild zu Stande, wie es Schwendener l. c.

bleibt aber frei. Die Sklerenchymfasern der Verstärkungen an der Endodermis sind durch quere poröse Scheidewände gefächert, mit wenig geneigten, äusserst feinen Tüpfeln versehen. Im Querschnitt fällt es auf, dass die Kalkdrusen führenden Rindenzellen vornehmlich den Sklerenchymfasern folgen. Ausserdem halten sie sich noch mit Vorliebe an der Endodermis den Gefässstrahlen gegenüber [1]).

Als auf einen extremen Fall unter den Araceen komme ich endlich auch noch auf die im Boden befindlichen Nebenwurzeln von Zantedeschia aethiopica zurück. Selbst am Grunde der ältesten dieser Wurzeln, die ich untersuchen konnte, und in welchen alle Gefässe längst schon fertiggestellt waren, zeigten sich ausschliesslich die Verdickungsschichten der Gefässe verholzt. Die Endodermis bleibt dauernd dünnwandig und hat nur das cutinisirte Band aufzuweisen. Die Zellen der Rinde führen, an Grösse abnehmend, in radialen Reihen auf die Endodermis hin. Man constatirt auch hier von neuem, dass die Endodermis die erste Schicht der inneren Rinde ist, der die Intercellularen fehlen. Auch die wenige Schichten starke äussere Rinde ist ohne Zwischenzellräume und schliesst mit einer cutinisirten hypodermalen Schicht (Exodermis) und einer ebensolchen Epidermis ab. Auffallend ist es, dass dieser Wurzel alle verholzten und stärker verdickten Elemente fehlen und dass ihr trotzdem von Secretbehältern auch nur raphidenhaltige Schleimzellen in der äusseren Rinde, welche im Vegetationskegel bereits entstehen, zukommen.

Trotz einer gewissen äusseren Aehnlichkeit mit den Dracaenen, haben doch bekanntlich die Pandaneen-Stämme kein Dickenwachsthum aufzuweisen. Die Gefässbündel im Stamm von Pandanus pygmaeus sind relativ klein. Die Gefässe ihres Vasaltheils bilden im Allgemeinen eine V-förmige Figur, deren Schenkelenden von je einem durch besondere Grösse ausgezeichneten Gefässe eingenommen werden. Der Siebtheil ist

---

Taf. II, Fig. 38, und Taf. III, Fig. 44, für Anthurium digitatum darstellt. Die Endodermis müsste sich in diesem Bilde aber nach rechts in die zweite der verdickten Zellreihen jenseits des Siebtheils fortsetzen.

1) Vergl. im Uebrigen Lierau, l. c. p. 10 ff.

nur schwach entwickelt. Die Gefässbündelscheiden zeigen sich an der Siebtheilseite sehr stark entwickelt und bestehen dort aus Sklerenchymfasern, während nur gestreckte parenchymatische Elemente den Gefässtheil umgeben. Die Sklerenchymfasern werden von kurzen Zellen, die je einen grossen Calciumoxalatkrystall führen, begleitet. Vielfach hat man Verschmelzungen der sklerenchymatischen Scheidentheile benachbarter Bündel zu beobachten. In gewohnter Weise nehmen die Gefässbündel gegen die Peripherie des Centralcylinders an Grösse ab und erfahren eine entsprechende Reduction. Das Grundgewebe zwischen den Bündeln ist ziemlich stark verdickt, stärkereich. Gegen die Peripherie wird es englumiger. Dann schliesst die mit weiteren Intercellularen versehene chlorophyllhaltige Rinde an, die mit einer Korkschicht nach aussen endet. Die Rinde wird nicht allein von Gefässbündeln, die sich auf dem Wege zu den Blättern befinden, sondern auch von Sklerenchymfasersträngen durchzogen. Auch diese haben reiche Begleitung von Calciumoxalatkrystalle führenden Zellenzügen aufzuweisen, ähnlich wie die Sklerenchymfaserstränge der Palmen diejenige von kieselhaltigen Zellen. Ausserdem führt die Rinde zahlreiche Raphidenbündel.

Die Blattrosetten, welche die Zweige abschliessen, werden auch hier von unfertigen Internodien getragen und die obersten der fertigen Blätter von unfertigen Gefässbündeln auch hier versorgt. Längsschnitte durch einen Stammscheitel gestatten zu constatiren, dass die Bildung der Raphidenbündel innerhalb der Rinde in gewisser Entfernung vom Vegetationskegel erfolgt, während die Rindenzellen in regster Vermehrung begriffen sind. Behandlung mit Kaliumdichromat lässt mit Gerbstoff erfüllte Rindenzellen noch über die Anlagen der Raphiden hinauf bis fast in den Vegetationskegel hinein verfolgen. Im Centralcylinder sowohl, als auch in der Rinde, führen die Zellen bis an die gleichen Orte hin Oeltropfen. Im Centralcylinder zeigen sich Raphidenbündel nicht, und die gerbstoffhaltigen Grundgewebszellen sind seltener. Hingegen wird man dort auf eine andere Erscheinung aufmerksam. In ca. 1 mm Entfernung vom Scheitel, an Gefässbündeln welche bereits ihre Primanen ausgebildet haben, ist der Inhalt der noch völlig dünnwandigen, doch als solche schon angelegten Sklerenchymfasern stark gerbstoffhaltig. Dieser Gerbstoffgehalt erfährt eine Steigerung bis auf ca. 4 mm Entfernung vom Scheitel, um dann langsam wieder

abzunehmen. Diese Abnahme findet nicht gleichmässig in allen diesen Elementen statt. Dort wo der Höhepunkt des Gerbstoffgehaltes überstiegen wird, beginnt die Ausscheidung von Calciumoxalat in die, den noch unverdickten Sklerenchymfasern anliegenden Zellen, und rasch haben diese Krystalle ihre volle Grösse erreicht. Die Sklerenchymfasern bleiben immer noch durchaus dünnwandig. Erst ca. 12 mm unter dem Vegetationskegel fängt ihre Verdickung an. Den Gerbstoff haben sie an dieser Stelle fast schon völlig eingebüsst. Es liegt hier somit ein Fall vor, in welchem der Gerbstoff gerbstoffhaltiger Elemente schwindet, ohne dass Anknüpfungspunkte sich dafür finden lassen, dass er fortgeleitet worden wäre. Es erscheint vielmehr wahrscheinlicher, dass er an Ort und Stelle irgend eine Veränderung erfährt und als solcher schwindet. In der Rinde bleiben gleichzeitig die gerbstoffhaltigen Zellen unverändert erhalten, der Gerbstoff nimmt nicht ab. Interessant war es jedenfalls in diesem Falle mit Sicherheit zu constatiren, dass die gestreckten, als Sklerenchymfasern später sich verdickenden Elemente des Centralcylinders der Aufnahme von Nebenproducten dienen und neben, respective nach einander, Gerbstoff, Calciumoxalat und zur Ablagerung bestimmte Membranstoffe überwiesen erhalten. Im Gegensatz zu den Sklerenchymfasern des Centralcylinders zeigen sich die Sklerenchymfaserstränge der Rinde auf allen Entwicklungszuständen sehr gerbstoffarm, wohl aber nehmen sie grosse Mengen von Calciumoxalat auf, um es in den angrenzenden Zellen zu deponiren. Aehnlich wie die Rinde verhalten sich die Blätter. Auch dort werden frühzeitig Raphiden gebildet und bestimmte Mesophyllzellen mit Gerbstoff gefüllt. Die Gefässbündelscheiden der jungen Bündel bleiben nicht frei von Gerbstoff, ohne jedoch besonders reich an demselben zu werden. — Querschnitte in 2 mm Entfernung von der Stammspitze geführt und in Kaliumdichromat eingelegt, zeigen auf den ersten Blick, dass die Gerbstoffmassen, die in den Sklerenchymscheiden der Gefässbündel im Centralcylinder vertreten sind, bei weitem diejenigen, die in der Rinde und den Blättern abgelagert wurden, überwiegen. Gleichzeitig fällt die grosse Menge der Raphiden in der Rinde, die weit geringere in den Blattanlagen und ihr vollständiges Fehlen im Centralcylinder auf. Die jüngeren Gefässbündelanlagen, welche die Rinde passiren, sind auch gerbstoffarm, sie erhalten ihren Gerbstoffreich-

thum erst im Centralcylinder. Der Gerbstoffgehalt der Blätter steht hinter demjenigen der Rinde zurück und nimmt weiterhin noch, auch wenn man die bedeutende Grössenzunahme der Blätter berücksichtigt, allem Anschein nach ab. Stärke stellt sich im Centralcylinder des Stammes erst in einer Entfernung von etwa 15 mm vom Scheitel ein, etwas früher in der Rinde. Bei gleicher Entfernung vom Scheitel sind die Oeltröpfchen nur noch spärlich in dem Centralcylinder vertreten; in der Rinde waren sie schon in der Nähe des Scheitels bald nach dem Auftreten der Raphidenbündel verschwunden. Diese Beobachtungen eröffnen jedenfalls die Aussicht auf eine Reihe von Beziehungen und Wechselwirkungen, die hier nur angedeutet sein mögen. Jedenfalls wollte ich diese Beobachtungen nicht unterdrücken, wenn sie auch nicht in nothwendigem Zusammenhang mit meinen sonstigen Aufgaben stehen.

Die Gefässbündel der Blätter sind so eigenartig gebaut, dass es im ersten Augenblick Mühe macht, sie richtig zu deuten. Der Gefässtheil zeigt Vasalprimanen, auf welche Schraubengefässe folgen. Umfasst werden diese Elemente von verholztem, doch nur schwach verdicktem Vasalparenchym, das seinerseits von weitlumigen, gestreckt parenchymatischen, verdickten Scheidenelementen sich umgeben zeigt. An den Gefässtheil setzen, weiter nach aussen, zu einem Strang vereinigte, stark verdickte sklerenchymatische Elemente an, die gemeinsam an ihrer Oberfläche von kurzen, krystallführenden Zellen begleitet werden. Im Innern dieses Stranges liegt für gewöhnlich ein einziges, grosses, quer getüpfeltes Gefäss, das von einer meist deutlich abgesetzten Schicht von Vasalparenchymzellen umgeben ist. Zwischen die Sklerenchymfasern sind andererseits vorwiegend vereinzelte, eine hufeisenförmige Figur um das Gefäss bildende Siebröhren, sammt ihren Geleitzellen, vertheilt. Dieser eigene Bau ist von de Bary bereits richtig geschildert worden [1]). Er tritt noch anschaulicher hervor, wenn man Schwefelsäure auf das Präparat einwirken lässt. Der das grosse Gefäss und den Siebtheil führende Strang stark verdickter Sklerenchymfasern färbt sich zu Beginn der Einwirkung gelb; die den Gefässtheil umgebenden, schwächer verdickten Scheidenelemente bleiben weiss, treten aber in Folge der Quellung ihrer

1) Vergl. Anat., p. 342.

Wände deutlicher hervor; an den Durchlassstellen widerstehen die angrenzenden, weitlumigen, chlorophyllfreien, lückenlos verbundenen Mesophyllzellen längere Zeit der Schwefelsäure; der die engen Gefässe führende Gefässtheil nimmt zugleich bräunliche Färbung an.

Der geschilderte Gefässbündeltypus ist fast noch charakteristischer in dem Blatte von Pandanus utilis entwickelt. Dort kann man sich schon bei schwacher Vergrösserung über die Vertheilung der Elemente im Bündel orientiren, so wie das aus der Skizze Fig. 46, Taf. V, zu entnehmen ist, die nur das Gefässbündel sammt seiner Gefässbündelscheide uns vorführt. Die gestreckten Elemente (*si*), welche den der Blattoberseite zugekehrten Innenrand des Gefässtheils umscheiden, sind auch bei Pandanus utilis weitlumig und weissglänzend. Das grosse Gefäss (*v*) ist in bräunlich gefärbte Sklerenchymfasern (*sc*) eingeschlossen und von einer deutlich abgesetzten Vasalparenchymschicht umgeben. Die zwischen die Sklerenchymfasern vorwiegend in Einzahl eingebetteten Siebröhren nebst Geleitzellen (*c*) bilden um das grosse Gefäss einen nach der Oberseite zu mehr oder weniger deutlich unterbrochenen Kranz. Die Sklerenchymfasern gehen ohne scharfe Grenze in eine Gewebeplatte über, deren Elemente allmählich immer ähnlicher den Scheidenelementen am Innenrande des Gefässtheils werden. Zu den beiden Seiten des Gefässbündels sind die Elemente der Scheide schwächer verdickt und bilden so Durchlassstellen (*d*). Das grosszellige Mesophyll schliesst mit lückenlos verbundenen chlorophyllarmen Elementen an die Gefässbündelscheide seitlich an. An der oberen und der unteren Kante stärkerer Bündel werden diese Mesophyllzellen chlorophyllfrei, auch mehrschichtig und verbinden die Gefässbündelscheide mit einem hypodermalen Sklerenchymstrang. Ueber und unter solchen Gefässbündeln ist das chlorophyllhaltige Gewebe des Blattes unterbrochen. Die Mesophyllscheide welche die sklerenchymatische Gefässbündelscheide schwächerer Gefässbündel umgiebt, ist auch an der oberen und unteren Kante nur einschichtig und von eben solchen Elementen wie an den Flanken gebildet. — Was im Innern der Sklerenchymscheide dieser selbst und was dem Gefässbündel zuzuzählen sei, lässt sich nicht entscheiden. Man kann sich vorstellen, dass der Siebtheil hier durch eingedrungene sklerenchymatische Elemente der Gefässbündelscheide noch stärker

zertheilt wurde als bei den Palmen, zertheilt bis zur Trennung in einzelne Siebröhren nebst Geleitzellen. Dass die holzparenchymatischen Elemente, welche die grossen Gefässe von den kleineren trennen, von den sklerenchymatischen Elementen der angrenzenden Gefässbündelscheide nur wenig abweichen, erscheint sonstigen Erfahrungen nach wenig auffällig. — Schwefelsäurebehandlung giebt ganz ähnliche Bilder wie bei Pandanus pygmaeus. Die nach der Blattunterseite zu die Gefässbündelscheide in eine Platte verlängernden Scheidenelemente nähern sich auch in ihrer Färbung den Scheidenelementen der oberen Gefässbündelkante. Die die Gefässbündelscheide umgebende Mesophyllschicht widersteht auch nur an den Durchlassstellen länger der Schwefelsäure. Diese Mesophyllschicht ist bei Pandanus utilis immerhin hinreichend abgesetzt um als Phloeoterma besonders hervorgehoben werden zu können. Was sie umfasst, gehört dem Centralcylinder an.

Das Blatt von Pandanus pygmaeus, zu dem wir zurückkehren wollen, hat innerhalb der mehrschichtigen, grosszelligen Hypodermis der Oberseite kleine Sklerenchymfaserstränge. Ebenso laufen isolirte Sklerenchymfasern innerhalb des Palissadenparenchyms und des Schwammparenchyms. Diese in das grüne Gewebe eingebetteten Sklerenchymfasern werden, ebenso wie die dem Siebtheil der Gefässbündel folgenden, von Krystallzellreihen begleitet. Bei den isolirten Sklerenchymfasern ist dieses besonders auffallend, wobei nicht selten mehrere krystallführende Zellreihen der einen Sklerenchymfaser folgen. Ja, sie können selbst in doppelter Reihe derselben anliegen. Augenscheinlich fällt diesen Sklerenchymfasern ganz besonders das Geschäft der Ableitung der Stoffe zu, aus welchen das Calciumoxalat abgelagert wird. Die in dem Hypoderma der Blattoberseite laufenden Sklerenchymfasern sind andererseits ganz ohne Krystallbegleitung, oder haben nur ganz ausnahmsweise an einzelnen Stellen eine solche Begleitung aufzuweisen. Die Stoffe, welche innerhalb der Sklerenchymfasern abgeleitet werden, können somit selbst innerhalb desselben Blattes Verschiedenheiten zeigen. — An den Sklerenchymfasern des Innenrandes der Gefässbündel ist mir in keinem einzigen Falle ein Krystall begegnet. Von der grösseren oder geringeren Porosität der Sklerenchymfasern ist die Function der Calciumoxalat-Ablagerung unabhängig, denn zwar zeigen sich die den Sieb-

theil begleitenden Sklerenchymfasern sehr stark porös, doch die noch reicher mit Krystallen belegten Sklerenchymfasern im grünen Gewebe nur mit spärlichen und feinen Poren versehen. Den Sklerenchymfasern im Hypoderma gehen sowohl Poren als anliegende Krystalle ab. Die Bildung der die Sklerenchymfasern begleitenden Krystalle erfolgt schon auf jungen Entwicklungszuständen, während die Sklerenchymfasern noch dünnwandig sind. Diese Krystallbildung hängt hier somit nicht mit den Assimilationsvorgängen zusammen. Die von den Gefässbündeln unabhängigen Sklerenchymfasern werden später als die sich zu denselben haltenden ausgebildet, und entsprechend beginnt auch die Krystallbildung später an letzteren. Die Längsbündel der Blätter werden durch schwache Querbündel verbunden, welche in dichteren Gewebebrücken innerhalb der mit den Längsbündeln alternirenden Luftlücken liegen.

Innerhalb der Blattscheide nimmt der Durchmesser der Gefässbündel ab. Das grosse äussere Gefäss ist zugleich durch mehrere kleinere vertreten worden und diese haben sich den inneren Gefässen genähert; die Siebröhren sind zu einer kleinen Gruppe an der Aussenseite des Gefässtheils zusammengerückt. Die Sklerenchymfasern bilden jetzt um den Siebtheil einen starken Beleg. Die Sklerenchymfaserstränge, durch Verschmelzungen an Zahl reducirt, haben sich nach dem Blattinnern gezogen. Die Sklerenchymfasern an den Gefässbündeln sind reich mit Krystallen belegt; an den freien Sklerenchymsträngen sind solche hier hingegen nicht vorhanden.

Ausser den bis jetzt behandelten habe ich auch zahlreiche Pflanzen aus verschiedenen anderen Familien der Monocotylen in Vergleich gezogen, um festzustellen, ob sie nicht etwa in Bau und Anordnung ihrer Elemente im Gefässbündel neue Combinationen bieten, die weitere theoretische Verwerthung zulassen. Als Ergebniss dieser vergleichenden Untersuchung wurden wohl noch interessante Einzelheiten, nicht aber wesentlich neue Gesichtspunkte gewonnen. Ich ziehe es daher vor, um nicht ermüdend zu wirken, von der Veröffentlichung dieser Einzelheiten abzusehen. Nur greife ich aus der Zahl noch die Orchideen heraus, weil dieselben einige Eigenthümlichkeiten zeigen, die mir hervorzuheben hier erwünscht scheint.

Die mit aufstrebendem Stamme versehene Maxillaria triangularis bot ein besonders instructives, weil extremes Beispiel dar. Die älteren Stammtheile dieser Pflanze werden sehr hart. Die äusseren Theile ihrer Rinde sind abgestorben, lufthaltig und decken peridermartig die inneren lebendigen Theile. Die inneren lebendigen Theile der Rinde stechen durch ihre Dünnwandigkeit und ihren Stärkemangel von dem Centralcylinder ziemlich scharf ab. Die innerste Rindenschicht markirt sich nicht besonders. Der Centralcylinder führt die in relativ stark verdicktem Grundgewebe eingebetteten Gefässbündel. Diese Grundgewebselemente enthalten lebendigen Inhalt, meist auch Stärke. Sie sind gestreckt parenchymatisch, mit einfachen Poren versehen, ziemlich stark verholzt. Die Gefässbündel führen im Gefässtheil grosse, sich unmittelbar berührende, quer getüpfelte Gefässe, die gemeinsam von Vasalparenchym umfasst werden. Die Siebröhren und Geleitzellen des Siebtheils sind in ihrer Grösse wenig verschieden. Von den Gefässen ist der Siebtheil durch Vasalparenchym getrennt. Die Gefässbündelscheide ist stark entwickelt; sie besteht aus sklerenchymatischen Elementen, die keine Durchlassstellen bilden.

Anders liegen die Verhältnisse in den Scheinknollen, die in den Achseln der Blätter am Stamm angelegt werden. Sie entsprechen angeschwollenen unteren Stengelgliedern bestimmter Sprosse, welche nur ein Blatt am Gipfel tragen und hiermit ihre Entwicklung abschliessen. Das Blatt wird später abgeworfen, während die Scheinknolle als Reservestoffbehälter am Stamme verharrt. In diesen Scheinknollen sind nun die Gefässbündel im Gegensatz zu denjenigen des Stammes mit Durchlassstellen versehen, wodurch die Bedeutung dieser Durchlassstellen für den Stoffaustausch mit der Umgebung deutlich hervortritt. Das Grundgewebe der Scheinknolle ist grosszellig. Den Gefässbündeln entlang laufen Luftgänge, und zwar entweder nur an der Siebtheilseite oder auch am Gefässtheil. Sehr grosse, blasenförmige Schleimzellen sind in dem Gewebe vertheilt. Gegen die Peripherie werden alle diese Elemente allmählich kleiner. Eine scharfe Grenze gegen die Rinde ist nicht vorhanden; für alle Fälle muss diese Grenze hier, dem Bau und der Vertheilung der Gewebe nach, sehr weit nach aussen liegen und die Rinde somit aus nur wenigen Zellschichten bestehen. Die mit starken Cuticularschichten versehene Epidermis ist auch

wenig scharf gegen die Rinde abgesetzt. Alle Grundgewebselemente des Centralcylinders zeigen sich mit grossen Tüpfeln versehen, welche den Wänden einen netzförmigen Bau verleihen. Die Grundgewebszellen um die Luftgänge führen Chlorophyllkörner; solche sind auch in den peripherischen Theilen der Knolle vorhanden und nehmen von da an nach innen zu ab. — Der mit sklerenchymatischem Beleg versehene Siebtheil der kleineren Gefässbündel ragt in den Luftgang hinein. Nur einzelne, oft bedeutend gestreckte Grundgewebszellen durchsetzen diesen Luftgang und schliessen an den Sklerenchymbeleg des Gefässbündels an. Der Gefässtheil dieser kleinen Bündel wird von lückenlos verbundenen Grundgewebszellen umfasst. Die Durchlassstelle erstreckt sich so gewissermaassen um diesen ganzen Gefässtheil. Die Verbindung mit dem Siebtheil wird auch hier durch parenchymatische Grundgewebselemente vermittelt, welche mit der Durchlassstelle zusammenhängen und den Siebtheil umfassen. Die grösseren Gefässbündel haben einen sklerenchymatischen Beleg sowohl an der Siebtheil- als auch der Gefässtheilseite aufzuweisen und sind alsdann an den beiden Kanten aufgehängt. Nur an den Flanken ist hier eine feste Verbindung mit dem parenchymatischen Grundgewebe vorhanden und dort sind demgemäss die Durchlassstellen ausgebildet. — Die den Gefässbündeln in der Scheinknolle folgenden Zellzüge sind besonders stärkereich. Zerstreute Zellen zeichnen sich durch grösseren Gerbstoffgehalt aus. Das ganze Gewebe widersteht auffallend gut der Schwefelsäure.

Der Bau, wie ihn die älteren Stammtheile von Maxillaria triangularis besitzen, weist darauf hin, dass diese Stammtheile vornehmlich nur dem Transport der Reservestoffe dienen, ähnlich wie dies etwa ein Blattstiel thut.

Bei der mir zur Verfügung stehenden, kräftigen und gesunden Pflanze von Maxillaria triangularis suchte ich in ausgewachsenen Scheinknollen vergebens nach abgelagertem Calciumoxalat. In ganz jungen, in der Entwicklung begriffenen Scheinknollen zeigte sich die äussere Rinde hingegen reichlich mit Raphidenbündeln versehen. Solche Raphidenzellen folgten dort auch, in nicht geringer Anzahl, den Gefässbündeln und waren zum Theil auch noch in den grossen Schleimzellen zu finden. Während der Ausbildung der Scheinknolle fand aber eine Auflösung aller dieser Calciumoxalatkrystalle statt, so dass die

Scheinknollen noch vor ihrer Fertigstellung von Calciumoxalat so gut wie vollständig befreit waren. Auf diese Wiederauflösung der Calciumoxalatkrystalle in den Schleimzellen von Orchisknollen hatte bereits Frank hingewiesen [1]). Es liegt da einer der instructiven Fälle vor, in welchen abgeschiedenes Calciumoxalat wieder aufgelöst wird und Aufnahme in den Stoffwechsel findet [2]), beziehungsweise in den Stofftransport eingreift.

In dem Stamm von Maxillaria, wo die Raphidenbündel sich ebenfalls an die Aussenrinde und die Gefässbündel halten, findet eine Auflösung derselben nicht statt. Es kommt dort noch die Bildung von Kieselkörpern hinzu, welche denjenigen der Palmen entsprechen, wie bei diesen den Sklerenchymfasern der Bündel folgen [3]), doch nicht eben reichlich vertreten sind. Diese Kieselkörper findet man auch in den Scheinknollen.

Nicht bei allen Orchideen ist die reife Scheinknolle frei von Calciumoxalat. Bei Epidendrum auritum ist dasselbe auch in der älteren Knolle noch reichlich anzutreffen. Ein Vergleich jüngerer und älterer Scheinknollen bei jener Pflanze zeigt aber, dass auch dort während des Reifens ein Theil der Raphidenbündel aus der Scheinknolle, und zwar vornehmlich aus den grossen Schleimzellen verschwindet. Es entsteht hier eben mehr Calciumoxalat bei der Anlage der Knolle, als später beim Reifen derselben verbraucht wird.

Die Luftwurzeln von Maxillaria triangularis zeigen den für Orchideen-Luftwurzeln bekannten Bau [4]). Zu äusserst treffen wir die aus lufthaltigen, spiralig verdickten tracheïdalen Parenchymzellen gebildete Wurzelhülle. Dann folgt die Exodermis, deren Zellen an der Aussenseite gleichmässig, an den Seiten- und Innenwänden grob netzförmig verdickt sind. Die Durchlasszellen sind nicht verdickt, wohl aber zeigt die Wand der angrenzenden Zelle der Wurzelhülle an der Durchlasszelle

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. V, 1866—67, p. 179.

2) Vergl. auch Kohl, Anat.-phys. Untersuchungen der Kalksalze und Kieselsäure in der Pflanze, p. 59, und J. Holfert, Die Nährschicht der Samenschalen, in Flora, Bd. 73, N. R. 48, 1890, p. 288.

3) Diese Körper bei Orchideen schon von Link gesehen, Bot. Ztg. 1849, Sp. 750; über deren Verbreitung bei den Orchideen vergl. Kohl, l. c. p. 276.

4) Vergl. hierzu besonders Leitgeb, Denkschr. d. Akad. d. Wiss. zu Wien, Math.-naturw. Cl., Bd. XXIV, p. 179, 1864.

stärkere Verdickung. Doch ist jene Verdickung, sowie auch die übrigen der von aussen an die Endodermis grenzenden Zellräume sehr porös und somit für Wasser durchlässig. Diese Verdickung ist sehr eigenthümlich; von der Fläche betrachtet, ruft sie das Bild einer Schuppe von Hipparchia Janira in die Erinnerung. Dann folgt die chlorophyllhaltige Innenrinde, deren innerste Schicht als Endodermis ausgebildet ist. Die Zellen dieser Endodermis sind vor den Gefässen unverdickt und bilden dort die Durchlasstellen; im Uebrigen zeigen sie die nach innen zu gekehrte U-förmige Verdickung. Das ganze Grundgewebe des Centralcylinders ist verdickt und verholzt. So auch verholzt die Endodermis vor den Siebtheilen. Im Centralcylinder zeichnen sich besonders durch ihre starke Verdickung diejenigen Elemente aus, welche die Gefäss- und Siebtheile seitlich von einander trennen. Nach innen zu erweitern sich die Grundgewebselemente zum grosszelligen Mark. Die Zellen des letzteren bilden lufterfüllte Intercellularen zwischen sich. Durch die verdickten Elemente um die Gefässe ist auch hier hinlänglich dafür gesorgt, dass nicht etwa Luft aus den Intercellularen des Markes zu denselben gelangen könne. — Die an die Gefässe unmittelbar grenzenden Zellen sind im Querschnitt in keiner Weise von den Grundgewebszellen zu unterscheiden und setzen auch nicht irgendwie gleichmässig von denselben ab. Im Längsschnitt zeigen sich diese Zellen an der Gefässseite den Gefässen entsprechend getüpfelt, sonst aber in ihrer Gestalt nur gradweise vom angrenzenden Grundgewebe verschieden.

Schwendener hat ein Gefässbündel aus dem Blatte von Cypripedium venustum gewählt, um einen typischen Fall der Ausbildung von Durchlassstellen vorzuführen [1]). In der That ist dieses Beispiel auch recht prägnant. — An zahlreichen Blattbündeln von Cypripedium insigne, das ich untersuchte, vermittelte meist nur je eine Zellreihe an der Grenze zwischen Gefäss- und Siebtheil den Durchgang durch die stark verdickten Sklerenchymfasern der mehrschichtigen Scheide. Die Gefässe des Gefässtheils stossen meist direct aneinander und bilden eine einzige oder auch wohl zwei Gruppen. Diese sind von dünn-

---

1) Die Schutzscheiden und ihre Verstärkungen, Abh. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1882, Taf. V, Fig. 77.

wandigem Vasalparenchym in meist nur einfacher Schicht umgeben, respective auch durch solches getrennt. Es kommt vor, dass ein Gefäss an eine Sklerenchymfaser direct grenzt, dann ist es an dieser Seite gleichmässig verdickt. Die Trennung vom Siebtheil durch Vasalparenchym springt in die Augen. Die innerste Schicht der an den Siebtheil grenzenden Grundgewebselemente ist hier ebenfalls in besonders typischer Weise ausgebildet. Erst auf diese parenchymatische, unverdickte Schicht, die wir hier besonders scharf markirt fanden, folgen die verdickten Scheidenelemente. Auf diese Gewebeschicht hat, wie schon erwähnt wurde, auch Westermaier hingewiesen und dass sie Stärke und Gerbstoff unter Umständen führen kann, hervorgehoben [1]). Stärke fand Westermaier in dieser Schicht bei Scirpus natalensis, Gerbstoff innerhalb einzelner Zellen bei Cyperus badius und Cyperus Papyrus. Entsprechende Reactionen erhielt Westermaier auch in Zellen des Vasalparenchyms, woraus er auf die Identität der beiden Gewebe schliesst. Dass diese Gewebe verwandt sind, folgt in der That auch aus unseren Untersuchungen, welche zeigen, dass zwischen Vasalparenchym und den parenchymatischen Elementen des Grundgewebes nahe Beziehungen bestehen. Immerhin muss hervorgehoben werden, dass auch hier das den Siebtheil umgebende Parenchym dem Grundgewebe zuzuzählen ist. In dem Gefässbündel des Levistoma-Blattstiels sind Westermaier auch einzelne gerbstoffhaltige Zellen innerhalb des Siebtheils entgegengetreten. Es handelt sich dabei um einen sonst bei Monocotylen nicht beobachteten Fall, dessen Richtigkeit ich aber bestätigen kann. Bei den Palmen fällt es insofern weniger auf, als wir den Siebtheil in deren Blättern ja ganz allgemein durch Platten aus Vasalparenchym-Sklerenchymfasern gefächert finden, und die Fächerung sich öfters mehrfach wiederholt. Dadurch entsteht wohl überhaupt die Neigung, auch isolirte parenchymatische Elemente stellenweise in den Siebtheil einzuschalten, Elemente, die irgendwo ihren Anschluss an die im Umkreis des Siebtheils befindlichen finden müssen. — Unter Westermaier's Figuren befindet sich auch eine solche (l. c. Taf. III, Fig. 1), welche ein

---

1) Neue Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Bedeutung des Gerbstoffes in den Pflanzengeweben, Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1887, p. 136.

Gefässbündel aus dem Blatte von Cypripedium venustum darstellt und in demselben die ausgeprägte parenchymatische Zellschicht vorführt, die den Siebtheil umgiebt und an ihrem Rande in das Vasalparenchym übergeht. Von dem Inhalt dieser Zellschicht vermochte Westermaier eine nähere Kenntniss nicht zu gewinnen; es könnte, meint er, Zucker sein. Dass diese Zellschicht in der That meist nur gelöste Inhaltsstoffe führt, und dass in derselben sehr selten Stärke und selbst auch nur selten Gerbstoff anzutreffen ist, geht aus allen meinen Versuchen hervor. Westermaier erblickt in seinen Befunden einen Beweis dafür, dass stärke- und gerbstoffführende Zellen dem eiweissleitenden Gewebssystem der Monocotylen ebenso wie demjenigen der Dicotylen zufallen. Dagegen ist nur zu bemerken, dass bei Dicotylen, Ranunculaceen nur ausgenommen, die Kohlehydrate führenden Elemente zwischen den Elementen des Siebtheils, auch schon in den primären Theilen, allgemein vertreten sind, bei den Monocotylen hingegen im Innern des Siebtheils fehlen und nur in dessen Umkreis sich finden; dass sie den Siebtheil der Monocotylen ausserdem in relativ nur spärlicher Anzahl begleiten, und dass ihre Vertheilung den Eindruck macht, als komme es nicht so sehr auf die Fortleitung bestimmter Stoffe auf weitere Strecken an als vielmehr vornehmlich auf Stoffaufnahme aus den Geleitzellen, eventuell Versorgung des Siebtheils selbst mit bestimmten Stoffen, vor allem wohl Kohlehydraten.

Da die Bilder, welche Schwendener und Westermaier für das Bündel von Cypripedium entwerfen, richtig sind, so kann ich im Uebrigen auf dieselben verweisen, und möchte nur bemerken, dass in beiden Abbildungen die Andeutung der Vasalprimanen an dem Innenrande und der Cribralprimanen an dem Aussenrande der Bündel unterblieben ist.

Im Rhizom von Cypripedium venustum sind die Gefässbündel, wie auch sonst meist in Rhizomen, vorwiegend amphivasal gebaut; ausserdem nur wenig scharf gegen das umgebende Grundgewebe abgegrenzt. An der Peripherie des Centralcylinders wird der Abschluss durch einen Hohlcylinder aus Sklerenchymfasern vollzogen. Ausser diesen Sklerenchymfasern sind in den Gefässbündeln des Rhizoms nur noch die Gefässverdickungen verholzt. Die Calciumoxalatkrystalle im Rhizom treten uns in Gestalt langer dicker Prismen entgegen. Beson-

ders gross erscheinen diejenigen Krystalle, die einzeln eine Zelle erfüllen. Oder die Prismen sind dünner und liegen zu mehreren neben einander. Sie nehmen aber auch dann den Innenraum der Zelle vollständig in Anspruch und verhalten sich somit anders als die in der Peripherie des Rhizoms vertretenen Raphidenbündel, die im Schleim weit grösserer Zellen liegen.

Ein noch stärkerer Sklerenchymring schliesst den Centralcylinder im Blüthenschaft von der Rinde ab. Trotz dieses gemeinsamen Schutzes sind auch die einzelnen, zerstreuten, collateralen Gefässbündel im Innern des Centralcylinders umscheidet, die Verbindung derselben mit der Umgebung unvollkommen. Zwar sind dort nur die am Siebtheil befindlichen Scheidenelemente englumig, doch auch alle übrigen mehr oder weniger sklerenchymatisch verdickt und verholzt. Nach Behandlung mit schwefelsaurem Anilin und verdünnter Schwefelsäure stechen daher die Scheiden scharf von dem übrigen unverholzten Gewebe ab. Kleine Bündel in der Peripherie des Centralcylinders sind zum Theil vollständig in den Sklerenchymring aufgenommen.

Im Stengel von Orchis maculata finden wir, wie bei Cypripedium, den Centralcylinder von der Rinde durch einen Ring stärker verdickter, schwach verholzter, gestreckt parenchymatischer Elemente abgegrenzt, die innerste Rindenschicht aber auch hier nicht besonders markirt. Der Bau der Gefässbündel ist im Wesentlichen der nämliche wie bei Cypripedium, nur dass die Gefässe in stärkeren Bündeln den Siebtheil etwas mehr umfassen. Was aber diese Bündel auffällig macht, das ist ihre unvollkommene Abgrenzung gegen die Umgebung. Eine Scheide setzt sich in keiner Weise von dem übrigen Grundgewebe ab; gewöhnliche, den vom Gefässbündel entfernteren zum Theil völlig gleichende Grundgewebszellen sind es, welche an das Bündel anschliessen. Namentlich gilt dies für die Flanken des Bündels, wo man oft weitlumige Grundgewebszellen direct an Gefässe grenzen sieht (Taf. V, Fig. 49a und 49b). Diese Gefässbündelscheide, so unvollkommen sie ist, stimmt doch mit anderen Gefässbündelscheiden darin überein, dass ihre Elemente ohne Intercellularräume aneinander stossen. Doch sind hier Ausnahmen nicht eben selten, die nämlich, dass ein Intercellularraum bis an eine Gefässwandung reiche. Das kommt freilich auch bei anderen Pflanzen vor; wie denn bei-

spielsweise die Intercellulargänge der Markstrahlen bei Coniferen stets an Tracheïden streifen. Was hier aber auffällt, ist, dass die Gefässe gegen solche Intercellularen nicht durch gleichmässige, stärkere Wandverdickung geschützt sind. Es erklärt sich das wohl aus dem Umstande, dass hier keine weitgehenden Ansprüche an das Gefässsystem gestellt werden, und solches somit derartige schwache Stellen ohne Nachtheil ertragen kann.

Eine schwache Ausbildung der Gefässbündelscheiden tritt uns auch bei anderen Ophrydeen, so Orchis latifolia, Platanthera bifolia, Gymnadenia conopsea, Epipactis palustris, entgegen. Doch habe ich dort ein Vordringen von Intercellularräumen bis an die Gefässe nicht beobachten können. Ein besonders instructives Object, welches den interstitienfreien Zusammenschluss der Grundgewebselemente um die Gefässbündel sicherstellen lässt, ist Platanthera bifolia. Der Anschluss grosser Grundgewebszellen an die Gefässe ist an den Flanken der Bündel dort besonders häufig, luftdichter Verschluss dieser Grundgewebszellen aber überall durchgeführt. Ein bis zwei Zellschichten weit vom Gefässbündel bilden dieselben Grundgewebselemente grosse Intercellularen zwischen sich aus.

Bei allen diesen Orchideen widerstehen die Grundgewebszellen relativ lange der Schwefelsäure, ohne sich um die Gefässbündel herum in dieser Eigenschaft besonders auszuzeichnen.

In den unteren Theilen des Stengels von Orchis maculata finden zahlreiche Gefässbündelverschmelzungen statt, wobei die Gefässbündel zugleich in den amphivasalen Bau von Rhizombündeln eintreten. Im Pericykel des Centralcylinders trifft man dort mannigfaltig orientirte Gefässbündel an, welche an die peripherischen Rhizombündel anschliessen und Nebenwurzeln angehören. Der Centralcylinder des Rhizoms verengt sich nach abwärts immer mehr. Seine inneren Gefässbündel treten allmählich zwischen die äusseren und verschmelzen dort mit denselben. Das Innere des Centralcylinders wird schliesslich nur noch von einigen wenigen freien, amphivasalen Gefässbündeln eingenommen. Die Zahl der Raphidenbündel wächst in diesem inneren Gewebe gleichzeitig bedeutend an. Weiter nach unten, wo die Schnitte bereits durch das Gewebe der Knolle geführt werden, setzen dauernd neue Wurzelcylinder an die äusseren Rhizombündel an. Die Wurzeln, denen diese „Stelen" gehören, werden aber nicht mehr frei ausgegliedert. Ihr Gewebe bleibt

mit dem Körper der Knolle einheitlich verschmolzen. Das Rhizom erschöpft sich allmählich im Innern der Knolle, um schon im oberen Dritttheil derselben aufzuhören. Seine letzten Bündel gehen in die Bildung mehrerer Gefässbündelcylinder ein. Der Zahl solcher Stelen nach wären in einer Knolle von Orchis maculata über 20 Wurzeln verschmolzen, so dass die freien Enden, in welche solche handförmig getheilte Knollen auslaufen, bei weitem nicht die Zahl der wirklich in der Knolle vertretenen Wurzeln erreichen. In jedem einzelnen Abschnitte der Knolle ist ausserdem eine grössere Anzahl von Gefässbündelcylindern vorhanden, so dass solche Abschnitte nicht einmal den Abschluss einzelner bevorzugter Wurzeln vorstellen. Die Orchis-Knolle entspricht somit einer Verschmelzung des unteren, bald erlöschenden Rhizomendes mit einer grossen Anzahl ebenfalls verschmolzener Wurzeln [1]).

Die in die Knolle aufgenommenen Centralcylinder zeigen durchaus denselben Bau wie die Centralcylinder der über der Knolle frei entspringenden Nebenwurzeln. Der Centralcylinder der letzteren ist zwar meist octarch, derjenige der ersteren vorwiegend diarch, doch kommen auch im Innern der Knolle Centralcylinder vor, die bis acht Gefässstrahlen besitzen. So reichstrahlige Centralcylinder entspringen namentlich aus dem unteren Ende des Rhizoms. Alle diese Centralcylinder innerhalb der Knolle haben ihre typisch entwickelte Endodermis aufzuweisen. Dass die cutinisirten Bänder innerhalb dieser im Gewebe der Knolle eingebetteten Endodermen nicht dazu bestimmt sein können, „die Dehnbarkeit der Endodermis zu vermindern und zugleich die absolute Festigkeit zu erhöhen", liegt auf der Hand. In die Augen fällt aber der intercellularfreie gesicherte Abschluss, den sie gegen das umgebende Grundgewebe der Knolle auch in diesem Falle bilden.

Die ungetheilte Knolle von Orchis maculata verhält sich nicht anders als die getheilte der eben geschilderten Art.

---

1) Dass in den Orchisknollen eine Verschmelzung der Rinde zahlreicher Wurzeln vorliegt, hat bereits Van Tieghem angegeben, Traité de Botanique, II. Aufl., p. 209, 689.

Der Bau der Kryptogamen.

Um ein vollständiges Bild von dem Bau der Gefässbündel zu gewinnen, konnte ich nicht umhin, auch die Gefässkryptogamen in den Kreis meiner Untersuchungen zu ziehen. Es galt an diese mit denselben bestimmten Fragen, die wir uns bei den Phanerogamen gestellt, heranzutreten. Vor allem war festzustellen, bis zu welchem Maasse etwa eine weniger fortgeschrittene Arbeitstheilung im Bau und in den Functionen der Gefässbündel bei denselben vorläge. Es fand sich sehr bald, dass wenige Beispiele hier genügen würden, um das allgemeine Verhalten zu charakterisiren.

Zunächst sollen die Equiseten ins Auge gefasst werden.

Für die Untersuchung der Gefässbündel der Equiseten[1]) sind die sterilen Sprosse von Equisetum Telmateja den fertilen vorzuziehen. Wie jeder Querschnitt durch ein ausgebildetes Internodium eines solchen Sprosses lehrt, grenzt an eine gemeinsame, mit cutinisirtem Radialbande versehene Endodermis nach innen zunächst eine stärkehaltige Gewebeschicht, welche als Stärkeschicht bezeichnet worden ist, und an diese lehnen die in einem Kreis angeordneten Gefässbündel an. Das stärkehaltige Gewebe ist vor der Mitte der Gefässbündel zweischichtig, vor deren Rändern einschichtig, zwischen den Gefässbündeln ist es gegen das übrige Grundgewebe nicht scharf abzugrenzen. Jedes Gefässbündel führt an seinem inneren Rande die „Carinalhöhle", die auch hier denselben Ursprung hat, wie der bei Monocotylen so häufige, schizogene, wasserleitende Intercellulargang des Gefässtheils. In diese Höhle ragen die Ringe

---

1) Vergl. besonders Russow, Vergl. Unters., p. 141.

von Gefässtracheïden, der durch Streckung zerstörten, engen Vasalprimanen, hinein. Die Carinalhöhle wird gegen das Grundgewebe abgeschlossen durch eine Schicht gestreckter Vasalparenchymzellen, die ohne scharfe Grenze in das umgebende Gewebe übergehen. Dieses an den Innenrand und die Leisten des Gefässbündels stossende Gewebe ist lückenlos abgeschlossen. Seine Zellen zeigen sich in den Ecken etwas verdickt, was ihnen ein collenchymatisches Aussehen verleiht. Erst in einiger Entfernung von den Gefässbündeln treten zwischen den Grundgewebszellen lufterfüllte Intercellularen auf. Der Gefässtheil greift von beiden Seiten um den Siebtheil so weit nach aussen vor, dass er dort mit seinen Rändern die Stärkeschicht erreicht. Er wird in diesem Theile von Vasalparenchym und einigen Ringgefässtracheïden gebildet. In dem Siebtheil der Gefässbündel lassen sich die einzelnen Elemente ihrem Werthe nach nicht sofort erkennen. Auch setzen sie nicht scharf gegen das Vasalparenchym der Carinalhöhle ab. Im Allgemeinen sinkt die Weite der Elemente des Siebtheils etwas nach aussen, und schliessen dieselben dort mit engen Cribralprimanen ab. Bei eingehender Untersuchung stellt man eine Zusammensetzung des Siebtheils aus zwei Arten von Elementen sicher. Die einen sind relativ kurz, inhaltsreicher, mit Zellkern versehen, und stossen mit queren Scheidewänden auf einander; die anderen sind um das Vielfache länger, inhaltsärmer, ohne Zellkern und schliessen mit meist geneigten Wänden ab [1]). Alle diese Elemente folgen geradlinig auf einander. Es liegt wohl nahe, anzunehmen, dass die kürzeren, mit Zellkernen versehenen Elemente, als Cribralparenchymzellen, hier die Functionen der Geleitzellen vollziehen, während die anderen Siebröhren sind. Beide Arten von Elementen folgen auf dem radialen Längsschnitt in ziemlich regelmässiger Abwechslung auf einander. Die Siebplatten werden nur schwach ausgebildet und zeigen relativ dünne Belege. Im Inhalt der Siebröhren ist eine Anzahl kleiner Leucoplasten zu erkennen, doch lässt sich Stärke nicht nachweisen. In den engen, zum Theil verquollenen Siebröhren der Primangruppe stösst man auf Callusplatten.

1) Vergl. auch E. v. Janczewski, Études comp. sur les tubes cribreux, Mém. de la soc. des sc. nat. de Cherbourg, Vol. XXIII, p. 236.

Im Grundgewebe des Stengels von Equisetum Telmateja, sowohl diesseits wie jenseits der Endodermis, sind gerbstoffhaltige Elemente vertheilt. Diese Elemente erscheinen meist wesentlich länger als ihre Nachbarinnen und folgen stellenweise in grösserer Anzahl auf einander. Ihr Inhalt ballt sich auch wohl zu grösseren, unregelmässigen Körnern zusammen. Es lässt sich feststellen, dass die Füllung dieser Elemente unfern der Vegetationspunkte beginnt; dort fallen dieselben auch am meisten in die Augen. Calciumoxalat war an den Vegetationspunkten ebensowenig wie in den fertigen Geweben zu finden. Die Stärke der Stärkeschicht reicht bis auf wenige Internodien Entfernung vom Vegetationskegel. In dem Gewebe jenseits der Endodermis kann man die Stärke sogar noch höher hinauf verfolgen.

Bei den andern untersuchten Equiseten, vornehmlich bei Equisetum limosum, suchte ich nach den gerbstoffhaltigen Elementen des Equisetum Telmateja, und auch sonstigen stellvertretenden Secretbehältern, vergeblich.

Die eigenthümliche Stellung der beiden seitlichen Gefässtracheïden-Gruppen in den Gefässbündeln erklärt sich aus der Art der Gefässbündelvereinigung in den Knoten. Die beiden Gabelzweige, in welche sich jedes Gefässbündel des nächst höheren Internodiums spaltet, legen sich, wie bekannt, an je zwei neu eintretende Blattspurstränge seitlich an und verschmelzen mit denselben, doch so, dass ihre Gefässtracheïden getrennt von denjenigen des neuen Bündels als besondere Stränge zu beiden Seiten desselben weiter laufen. Erst am Grunde des nächst tieferen Knotens, wo sich diese gemeinsamen Gefässbündel spalten, tritt, vor dieser Spaltung, eine Vereinigung der medianen Gefässtracheïdengruppe, die sich im Knoten erhalten und an Zahl der Elemente vermehrt zeigt, mit den seitlichen Gefässtracheïdengruppen ein; dann erfolgt erst die Zweitheilung des ganzen Gefässbündels.

Der Umstand, dass die seitlichen Gruppen der Gefässtracheïden einem nächst höheren Internodium angehören, erklärt hinlänglich, dass sie während der Entwicklung des Gefässbündels zuletzt ausgebildet werden. Diese späte Ausbildung hat weiter zur Folge, dass sie eine geringere Streckung erfahren und daher dauernd erhalten bleiben.

Ich suchte festzustellen, ob während der Differenzirung des

Gefässbündels aus dem Procambiumstrange sich nicht bestimmte entwicklungsgeschichtliche Beziehungen der Siebröhren zu den Cribralparenchymzellen ergeben würden. Der Nachweis einer solchen Beziehung liess sich nicht führen.

In den Rhizomen fällt die bedeutendere Entwicklung der Valecularhöhlen auf, eine Erscheinung, welche sich aus den grösseren Anforderungen an dieses Durchlüftungssystem im Boden erklären lässt. Innerhalb der Gefässbündel fällt dort die Grössenzunahme der Siebröhren in den dem Gefässtheil näheren Partien des Siebtheils auf. Diese weitlumigeren Siebröhren sind von den Cribralparenchymzellen nunmehr leicht zu unterscheiden; weiter nach aussen im Siebtheil verwischen sich wiederum die Unterschiede. Die Centralhöhle in den Internodien schwindet; die Carinalhöhlen werden etwas grösser; die seitlichen Gefässtracheïden erfahren eine Reduction in der Zahl, doch eine Zunahme des Lumens und rücken bis an die Carinalhöhle heran.

Wie im oberirdischen Stengel, so im Rhizom, cutinisirt an der, in beiden gleichartig entwickelten, gemeinsamen Endodermis nur das schmale Band der radialen Wände.

Der Bau des Centralcylinders der Equisetum-Wurzel ist hinlänglich bekannt und soll hier daher nur kurz berührt werden. Die vorletzte Rindenschicht ist es in diesem Fall, deren Zellen, wie seit längerem bekannt, mit dem cutinisirten Radialbande versehen werden, während die innerste Rindenschicht den fehlenden Pericykel vertritt[1]). Die letzte und vorletzte Rindenschicht werden von Van Tieghem und Douliot als Endodermis bezeichnet, weil sie aus der späten Theilung einer innersten Rindenschicht, die sonst einfach bleibt und für sich die Endodermis bildet, hervorgehen[2]). Es würde sich in diesem Falle also um eine zweischichtige innerste Rindenschicht handeln, ganz wie in anderen Fällen eine Epidermis mehrschichtig werden kann. Van Tieghem hält, wie schon erwähnt worden, an der Bezeichnung „Endodermis" für die innerste Rinden-

---

1) Nägeli und Leitgeb, Entstehung und Wachsthum der Wurzeln, Beitr. zur wiss. Bot., Heft IV, 1868, p. 109; Van Tieghem, Symétrie de structure des plantes, Ann. d. sc. nat., Bot., V. sér., Bd. XIII, 1870—71, p. 77.

2) Recherches comparatives sur l'origine des membres endogènes dans les plantes vasculaires, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. sér., T. VIII, p. 394.

schicht, respective deren Theilungsproducte fest[1]), ganz ab-gesehen davon, ob diese Schicht das cutinisirte Band trägt oder nicht. Ich habe andererseits früher schon die Gründe angegeben, die mich veranlassen, diejenigen bestimmt differenzirten Zellschichten, für welche ursprünglich die Bezeichnung Endodermis gewählt wurde, auch weiter so zu benennen und für die innerste Rindenschicht einen anderen Terminus zu schaffen. Bestimmend war für mich die Erwägung, dass man die ursprüngliche Bedeutung der Termini, so weit thunlich, nicht verändern darf, und dass thatsächlich die innerste Rindenschicht bei weitem nicht immer als eine Haut, somit als Dermis entwickelt sei. Ich wählte daher für die innerste Rindenschicht die Bezeichnung Phloeoterma, das nur die Grenze der Rinde angiebt und somit allgemeine Anwendung zulässt. Damit wäre in diesem speciellen Falle der Equisetum-Wurzel das Phloeoterma zweischichtig. Seine innere Schicht wäre in die Function des Pericykels getreten, seine äussere Schicht als Endodermis entwickelt. Wollte man sich durch die Function in der Bezeichnung bestimmen lassen, so müsste man auch in diesem Falle die innere Schicht des Phloeoterma als Pericykel definiren. Wie verkehrt das wäre, braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden. Jeder morphologischen Erkenntniss wäre damit der Weg versperrt. Dass auch die physiologische Function, welche die Endodermis auszuüben hat, morphologisch sehr verschiedenen Geweben zufallen kann, werden wir gerade wieder bei Equiseten deutlich sehen können. Die Ausbildung des cutinisirten Radialbandes ist mit dieser Function verbunden und kann als Folge eines Reizes gelten, den das Bedürfniss nach luftdichtem Abschluss, an Orten, an welchen zugleich die Wasserbewegung nicht erschwert werden sollte, ausübte. Während die Bezeichnung Phloeoterma somit eine morphologische Bedeutung hat, bedeutet Endodermis nur eine bestimmte Art histologischer Differenzirung. Die innerste Rindenschicht giebt aber auch bei Equisetum wie bei anderen Filicineen, ungeachtet sie in die Stellung des Pericykels rückte und eine andere histologische Ausbildung erlangte, der Scheitelzelle der Seitenwurzeln den Ursprung[2]). Doch ist es im Gegensatz zu den anderen Filicineen hier nur

---

1) Traité de Botanique, II. Aufl., p. 674, 681, 738, 752.
2) Recherches comparatives, p. 394.

die innere Schicht des Phloeoterma, die sich an dieser Aufgabe betheiligt. Zu dem Umstande, dass auch die in Stellung des Pericykels befindliche Zellschicht [1]) bei Equisetum der Rinde angehört, steht wohl die eigenthümliche Erscheinung in Beziehung, dass zwischen der Endodermis und dieser inneren Phloeotermaschicht in den Zellecken Intercellularen bestehen. Diese Intercellularen wurden bereits von Pfitzer erwähnt [2]) und sind von ihm auch abgebildet worden (l. c. Taf. XX, Fig. 18). Diese Intercellularen können aber auch hier nicht störend in die Function des Centralcylinders eingreifen, denn sie sind von den Intercellularen der äusseren Rinde durch die Endodermis luftdicht getrennt und thatsächlich nicht mit Luft, sondern mit Flüssigkeit erfüllt. Vielfach findet man diese Intercellularen auch collabirt.

Die Gefässstrahlen stossen in der Mitte des Centralcylinders zusammen; die äussersten Gefässe berühren andererseits die innere Rindenschicht. Der Centralcylinder ist di- bis tetrarch, vorwiegend aber triarch gebaut. In den aus wenigen Elementen bestehenden Siebtheilen lassen sich die Siebröhren und Cribralparenchymzellen im Querschnitt nur so weit unterscheiden, als man einen Zellkern in letzteren getroffen hat. Doch stehen die Cribralparenchymzellen den Siebröhren im Allgemeinen an Weite nach. Parenchymatische Begleiter gehen somit den Siebröhren auch hier nicht ab.

Wie in der diesen Gegenstand besonders behandelnden Arbeit von Pfitzer [3]) gezeigt wurde, ist die, die inneren Gewebe des Internodiums abschliessende Gesammtendodermis von Equisetum Telmateja auch in den Knoten vorhanden. Es setzen an dieselben die Einzelendodermen der abgehenden Blattbündel und die Gesammtendodermen der Aeste an. Der Basis der letzteren entspringen andererseits die Endodermen der Wurzeln, so dass die gesammten Endodermen hier ein zusammenhängendes, in sich abgeschlossenes System bilden.

Die Centralhöhlen der Internodien enthalten unter Umständen Wasser. Diese Erscheinung tritt in den fertilen Sprossen

---

1) Vergl. Van Tieghem, ebendas. p. 394.

2) Ueber die Schutzscheide der deutschen Equisetaceen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VI, p. 326.

3) Ueber die Schutzscheide der deutschen Equisetaceen, l. c. p. 297.

viel auffallender entgegen. Mit einem Doppelmesser ausgeführte Querschnitte lehren, dass die Carinalhöhlen stets Wasser, die Valecularhöhlen der Rinde stets Luft führen. In Wasser aufgestellte, geköpfte, vor Verdunstung geschützte Sprosse pressten nach einiger Zeit Wasser in Tropfenform zu den Carinalhöhlen hinaus. Nach Ablauf von zwölf Stunden hatten die umgebenden Vasalparenchymzellen kugelige Ausstülpungen in die Carinalhöhlen getrieben, und war somit, in diese hinein, hier ganz ähnliche Thyllenbildung, wie sonst in ein Gefässlumen, erfolgt. Ungeachtet die an die Carinalhöhle grenzende Vasalparenchymzellen sich frei an ihrer ganzen Fläche hätten hervorwölben können, trieben sie doch meist nur local beschränkte, blasenförmige Ausstülpungen, oft eine ganze Anzahl derselben über einander, in diese Höhle hinein.

Die fruchtbaren, noch turgescenten Sprosse von Equisetum Telmateja zeigen die Centralhöhlungen ihrer Internodien zum Theil mit Wasser erfüllt. Die Füllung ist mehr oder weniger vollständig, und man kann in Stengeln, die man umkehrt, während man sie gegen das Licht hält, oft die Luftblasen deutlich erkennen und innerhalb der Internodien aufsteigen sehen.

Auch diese fruchtbaren Sprosse besitzen eine Gesammtendodermis, die den Abschluss der inneren, die Gefässbündel führenden Gewebe gegen aussen besorgt. In stark gestreckten Internodien ist die Carinalhöhle oft der einzige wasserleitende Kanal des Gefässbündels, da auch die beiden seitlichen Gruppen der kleinen Gefässtracheïden alsdann desorganisirt sein können. — Nach aussen lehnen die Gefässbündel an die lückenlos verbundenen Elemente der vorwiegend einschichtigen Stärkeschicht an, auf welche die Endodermis folgt. Im Uebrigen wird das Gefässbündel von gestreckten parenchymatischen Grundgewebselementen umgeben, die auch hier lückenlos verbunden sind und etwas collenchymatisch in den Ecken verdickt erscheinen. Doch alle diese Scheidenelemente sind unverholzt und gehen, an Weite zunehmend, in das umgebende Grundgewebe, das die Gefässbündel seitlich trennt und bis zur centralen Höhlung reicht, über. Um letztere herum ist das Grundgewebe theilweise desorganisirt. Das Wasser, das aus den Carinalhöhlen in die Centralhöhle gelangt, kann hier somit nicht innerhalb von Intercellularen sich bewegen, es passirt vielmehr die Zelllumina und wird durch die Grundgewebszellen in die Centralhöhle gepresst.

Aus dieser nehmen dieselben Zellen nach Bedürfniss das Wasser dann wieder auf. Es genügt nämlich, einen Spross, dessen Internodien mit Wasser erfüllt sind, nur eine Zeit lang in trockener Luft liegen zu lassen, damit dieses Wasser schwinde. Lässt man das aus einem Internodium befreite Wasser auf einer Glastafel verdunsten, so bleibt ein merklicher Rückstand zurück. — Innerhalb der Verzweigungs- und Vereinigungsstelle der Bündel im Knoten, entsprechend der Ebene, in welcher auch das die Internodialhöhlen trennende Diaphragma ausgespannt ist, schwinden, ganz wie in den vegetativen Sprossen, die Carinalhöhlen, während die Gefässtracheïden, die im Internodium durch die Carinalhöhlen vertreten werden, sich erhalten und vermehrt zeigen. Die Gefässtracheïden werden in den tangential verlaufenden Gefässbündelzweigen des Knotens sehr kurzgliedrig und zeigen sich vorwiegend netzförmig verdickt, während die eintretenden Blattspurstränge gestrecktere Ring- und Schraubentracheïden anfweisen.

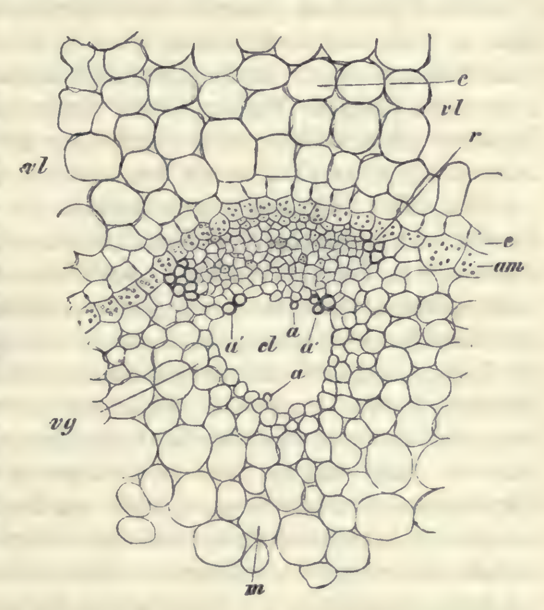
An Querschnitten, die mit einem Doppelmesser ausgeführt werden, kann man sich auch hier leicht davon überzeugen, dass die Carinalhöhlen der Gefässbündel Wasser führen. Die Vallecularhöhlen hingegen sind mit Luft erfüllt, selbst auch dann, wenn die Centralhöhle von Wasser strotzt.

Equisetum arvense (vergl. den nachstehenden Holzschnitt) fand ich im Wesentlichen ganz ebenso wie Equisetum Telmateja gebaut. Die Endodermis tritt bei dieser Art noch schärfer hervor, weil die dunklen Punkte an derselben besser sichtbar sind. — Wiederholt fand ich bei dieser Art am Morgen an vegetativen Sprossen kleine Flüssigkeitstropfen vor, die aus den Enden der in der Entwicklung begriffenen Quirltriebe herausgepresst worden waren.

Es musste von Interesse sein auch eine Equisetum-Art zu untersuchen, der eine Gesammtendodermis fehlt, die vielmehr Endodermen um die einzelnen Gefässbündel aufzuweisen hat. Dieser Fall trifft bekanntlich für die oberirdischen Sprosse von Equisetum limosum zu [1]. — Man konnte sich die Frage vorlegen, ob trotz des Abschlusses der einzelnen Gefässbündel durch Endo-

1) Pfitzer, Ueber die Schutzscheide der deutschen Equisetaceen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VI, p. 297; vergl. die Zusammenstellung p. 358.

dermen auch hier Wasser in die Centralhöhle der Internodien würde gelangen können. Das ist nun, wie ja auch von vornherein vorauszusehen war, der Fall. Kräftige Sprosse, vor Verdunstung möglichst geschützt, füllten ihre Centralhöhlen mehr oder weniger vollständig mit Wasser an. Auch hier hinterliess dieses Wasser beim Verdunsten einen merklichen Rückstand.



Theil eines Querschnittes aus dem Internodium eines sterilen Sprosses von Equisetum arvense, ein Gefässbündel und das angrenzende Gewebe zeigend. *cl* Carinalhöhle; *a* isolirte Ringe von Gefässtracheïden und *a'* gedehnte Ringgefässtracheïden, den Vasalprimanen gehörend. *r* Ringgefässtracheïden an den Seiten des Siebtheils, *vg* Gefässbündelscheide aus lückenlos verbundenen Grundgewebszellen, *e* Endodermis; *m* inneres, *c* äusseres Grundgewebe, *vl* angrenzende Valecularhöhle. Vergr. 90.

Die Gefässbündel sind bei diesem, nur eine Art oberirdischer Sprosse bildenden Equisetum nicht anders als bei Equisetum Telmateja und arvense gebaut. Die mit dem cutinisirten Bande versehenen Einzelendodermen halten sich ein bis zwei Zellschichten weit von der Carinalhöhle, meist nur eine Zellschicht weit von den seitlichen Gefässtracheïden und von dem Aussenrande des Siebtheils entfernt. Die Zellschicht welche die Endodermis von der Aussenseite des Gefässbündels trennt, zeichnet sich im oberen Theile des Stengels hier ebenfalls durch ihren Stärkegehalt aus.

Auch im Rhizom von Equisetum limosum fällt die bedeutende Grössenzunahme der Valecularhöhlen auf. Der Durchmesser der Siebröhren wächst in diesem Falle nicht wesentlich an; die seitlichen Gruppen der Gefässtracheïden erfahren eine Reduction und rücken an die Carinalhöhle heran, die sich nicht

erweitert. Hingegen bleibt die Centralhöhle, wenn auch etwas reducirt, erhalten.

Geköpfte Stengel von Equisetum limosum, in Wasser gestellt und vor Verdunstung geschützt, können zu den Carinalhöhlen Wasser hervorpressen, auch wenn sie im unteren Theile völlig wurzellos sind.

Für Equisetum hiemale giebt bereits Westermaier[1]) an, dass er Ende Mai und Anfang Juni die Carinalhöhlen vielfach wasserführend fand. Auch konnte er zeitweise in den überwinternden Schaften Wasser in der Centralhöhlung beobachten. Es kann dieses Wasser sogar unter höherem Drucke stehen, so dass es aus einer Stichwunde hervorspritzt.

Bei allen Equiseten durchsetzen die Endodermen den Knoten, dort mannigfache Verschmelzungen und Trennungen erfahrend[2]). Unter allen Umständen bilden sie ein einheitliches, nach aussen abgeschlossenes System. Bei den meisten der nur mit einer äusseren Gesammtendodermis versehenen Arten kommt im Knoten noch eine innere Gesammtendodermis hinzu, die nur auf den Knoten beschränkt bleibt und deren Elemente nach oben und unten in gewöhnliche Grundgewebszellen übergehen[3]). Das von einer solchen inneren Endodermis umschlossene, das Diaphragma bildende Gewebe wird stark porös verdickt und gebräunt. Aehnlich kurze Abschnitte einer inneren Gesammtendodermis werden bei denselben Equisetum-Arten am Grunde der Aeste eingeschaltet, wo sie ebenfalls ein inneres, sich bräunendes Gewebe abgrenzen[4]).

Es wurde schon bei Equisetum Telmateja erwähnt, dass die in die Stengelknoten eintretenden Blattspurstränge mit Einzelendodermen versehen sind. In ihrem Bau stimmen diese Blattbündel bei den verschiedenen Equisetum-Arten überein. Eine Carinalhöhle wird in denselben nicht ausgebildet, die Gefässtracheïden bleiben erhalten und bilden ein quer gedehntes, den Siebtheil mehr oder weniger umgreifendes Band. Der Siebtheil selbst ist auf wenige Elemente reducirt und

---

1) Untersuchungen über die Bedeutung todter Röhren und lebender Zellen für die Wasserbewegung in der Pflanze, Sitzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, Bd. XLVIII, 1884, p. 1107.

2) Vergl. Pfitzer, l. c. p. 327 ff.

3) Ebendas. p. 332.

4) Ebendas. p. 334.

schliesst am Aussenrande mit engen Cribralprimanen ab. Die Endodermis, an ihren schwarzen Punkten auch hier leicht kenntlich, wird durch eine Zellschicht von dem Gefässbündel getrennt. Das entspricht somit dem Verhalten, welches auch die von Einzelendodermen umgebenen Stammbündel von Equisetum limosum zeigten. Wie leicht begreiflich, fehlen den Blattbündeln die seitlichen Gruppen der Gefässtracheïden, die ja im Stengel erst in Folge bestimmter Bündelverschmelzungen auftreten. Die Endodermis folgt den Blattbündeln in die freien Blattzipfel und schliesst dort über den frühzeitig absterbenden Ring- resp. Schraubentracheïden, in welche diese Gefässbündel auslaufen, zusammen.

Endodermen pflegen aus der innersten Rindenschicht hervorzugehen und den Centralcylinder abzuschliessen, doch traten uns abweichende Verhältnisse bereits bei Ranunculaceen entgegen. Die Gattung Equisetum ist in dieser Beziehung noch instructiver. Schon die Wurzel bietet einen ungewohnten Fall, insofern als die Endodermis nicht aus dem gesammten Phloeoterma, sondern einem Theilungsproduct desselben hervorgeht. In den Stammtheilen der Equiseten haben die Endodermen ganz verschiedenen Ursprung. Denn es lässt sich in der That nicht annehmen, dass in den sonst gleich gebauten Equisetum-Stämmen der morphologische Werth der Endodermis stets derselbe und somit die Vertheilung der Gewebssysteme in jedem einzelnen Falle eine verschiedene sei. Den Werth dieser Gewebssysteme vermied ich bis jetzt näher zu bezeichnen, da er sich erst aus einer vergleichend-morphologischen Betrachtung ergeben soll. Der collaterale Bau der einzelnen Gefässbündel, die nur an der nach aussen gekehrten Seite einen Siebtheil haben, drängt hier zu der Vorstellung, dass in der That das gesammte innere Gewebe des Stammes als einziger Centralcylinder aufzufassen sei, und dass somit dasjenige Verhalten, welches die Stämme von Equisetum Telmateja und arvense bieten, als das typische, für die Deutung bestimmende aufzufassen sei. Darnach würde bei den beiden genannten Equisetum-Arten die Endodermis thatsächlich, in gewohnter Weise, der innersten Rindenschicht entsprechen, die an die Endodermis grenzende Stärkeschicht als Pericykel, das innere Gewebe als Mark, die Grundgewebsstreifen zwischen den Gefässbündeln als Markstrahlen zu deuten sein. Bei der Uebereinstimmung im Bau und in der Anordnung der

einzelnen Gefässbündel, sowie der völlig gleichen Vertheilung der sonstigen Gewebe bei den anderen Equisetum-Arten, welche eine abweichende Orientirung der Endodermen zeigen, kann die Deutung der einzelnen Gewebe auch dort keine andere sein. Ich nehme bei allen, in Stengel und Rhizom, nur einen einzigen Centralcylinder an, der von einer gemeinsamen Rinde umgeben ist. Die Einzelendodermen um die einzelnen Gefässbündel oder die gemeinsame Innenendodermis wo eine solche vorhanden, sind dann eben aus Elementen des Grundgewebes des Centralcylinders ausgebildet worden. So lässt sich wohl das verschiedene Verhalten der einzelnen Equisetum-Stämme, die Aenderung der Lage welche die Endodermen beim Uebergang von Rhizom zu Stengel bei mehreren Arten erfahren, in der einfachsten Weise erklären. Hingegen müsste man in bestimmten Fällen den sonst völlig übereinstimmend gebauten und vertheilten Geweben von Rhizom zu Stengel verschiedene morphologische Deutungen geben, wenn die Endodermis stets denselben morphologischen Werth behalten sollte. So besitzen gewisse Equisetum-Arten, wie Equisetum limosum, litorale, Einzelendodermen im Rhizom wie im oberirdischen Stamm; eine Anzahl anderer Arten, wie Equisetum hiemale, ramosissimum, trachyodon, Einzelendodermen im Rhizom, eine äussere und innere Gesammtendodermis im oberirdischen Stamm; noch andere Arten zeigen zwei Gesammtendodermen im Rhizom und in den oberirdischen Sprossen. In anderen sind innere Endodermen nur noch in den Knoten entwickelt; in anderen schliesslich fehlen die inneren Endodermen ganz [1]). Beim Uebergang vom Rhizom zum oberirdischen Stamm sieht man bei denjenigen Arten, welche Einzelendodermen im Rhizom, Gesammtendodermen im oberirdischen Stamm besitzen, sich die Einzelendodermen öffnen und mit den Rändern verschmelzen, um in die Gesammtendodermen überzugehen [2]). Dass in denjenigen Fällen, in welchen die Gefässbündel von Einzelendodermen umgeben sind, die innerste Rindenschicht sich nicht als besondere Haut um den Centralcylinder markirt, die Grundgewebe dort vielmehr ohne Grenze in einander übergehen, darf nicht Wunder nehmen. Die physiologische Veranlassung zur Ausbildung einer Endodermis an jener Stelle fällt eben weg.

---

1) Pfitzer l. c. p. 357.
2) Ebendas. p. 315 ff.

So fanden wir auch bei Phanerogamen die innerste Rindenschicht vielfach nicht besonders gekennzeichnet, und zwar in allen denjenigen Fällen nicht, in welchen auf andere Weise für den hinlänglichen Abschluss der Wasserbahnen innerhalb des Centralcylinders gesorgt war.

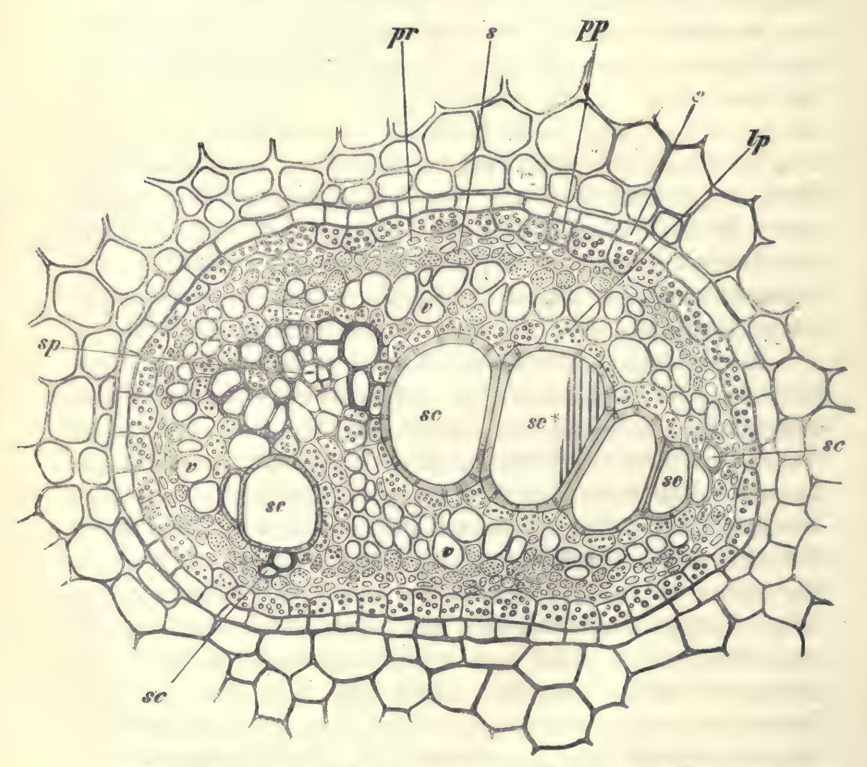
Nach alledem halte ich auch alle Equisetum-Stämme für monostelisch gebaut und verlege die Rindengrenze bei allen an dieselbe Stelle, auch wenn diese Stelle nicht besonders markirt ist.

Bei den meisten Farnkräutern haben wir mit Polystelie zu thun, indem ihre einzelnen, als concentrisch gebaute Gefässbündel bezeichneten Gefässbündelstränge thatsächlich marklose, vom Pericykel und dem als Endodermis ausgebildeten Phloeoterma umschlossene Stelen darstellen, welche in das gemeinsame, der Rinde entsprechende Grundgewebe eingebettet sind.

In den so oft studirten Stelen des Rhizoms und Blattstiels von Pteris aquilina (vergl. den nachstehenden Holzschnitt) stossen die behöften, ein geschlossenes Band im Innern der Stele bildenden Treppengefässe grösstentheils direct aneinander. Das Gefässband wird von stärkeführenden, gestreckten Vasalparenchymzellen umgeben, und auch zwischen die Gefässe sind stellenweise solche Vasalparenchymzellen eingeschaltet. Wo die Gefässe aneinander stossen, sind ihre Tüpfel beiderseits behöft, mit schwachem Torus auf der Schliesshaut versehen. Wo die Tüpfel an die Vasalparenchymzellen grenzen, sind sie einseitig, nur an der Gefässseite behöft und ihre Schliesshaut ohne Torus. Die stark geneigten Endflächen dieser Treppengefässe sind leiterförmig verdickt, spaltenförmig behöft getüpfelt; die Schliesshäute der Tüpfel bleiben in manchen Endflächen sämmtlich erhalten, in anderen, wie de Bary [1]) bereits angegeben hat, werden sie in einem Theile der Tüpfel, auch wohl in allen, resorbirt. Die grössten, annähernd elliptischen Stellen des Rhizoms zeigen an einer, häufiger an zwei Stellen, die den Brennpunkten des elliptischen Querschnittes mehr oder weniger entsprechen, englumigere Gruppen, die aus engeren Gefässtracheïden und Vasalparenchym bestehen [2]). Ein Theil der

1) Vergl. Anat., p. 170, Fig. 61 D, und p. 175.
2) Vergl. auch Russow, Vergl. Unters., p. 101.

engen Gefässtracheïden dieser Gruppen ist noch treppenförmig, ein anderer Theil bereits schraubenförmig verdickt, die Mehrzahl ist desorganisirt und zeigt isolirte Schraubenbänder und Ringe. Jene englumigen Elemente stellen die Erstlinge des Gefässtheils, die Vasalprimanen, vor. Das Parenchym, das sie begleitet, ist meist dünnwandiger und inhaltsärmer. In den



Querschnitt durch ein Gefässbündel aus dem Blattstiele von Pteris aquilina. *sc* Treppengefässe, *sp* Vasalprimanen, *sc** Stärke einer leiterförmig verdickten, durchbrochenen Terminalwand zwischen zwei Treppengefässgliedern, *lp* Vasalparenchym, *v* Siebröhren, *c* Cribralparenchym, *pr* Cribralprimanen, *pp* die Stelle des Pericykels einnehmende innerste Rindenschicht, *e* Endodermis. Vergr. 240.

Gefässbündeln der Blattstiele schwellen seine Elemente oft blasenförmig an und treten auch stellenweise, Lücken bildend, aus dem Verbande. Solcher blasenförmigen Anschwellung sind auch nicht resorbirte Glieder der Erstlingsgefässtracheïden fähig. Auf ähnliche Erscheinungen ist bereits von Dippel, Russow und

de Bary hingewiesen worden [1]). — In schmächtigeren Stelen ist meist nur eine Erstlingsgruppe vertreten, die zwischen die grossen Gefässe eingeschaltet, oder ihnen seitlich angesetzt ist. Sie befindet sich in letzterem Falle stets an der concaven Seite des gekrümmten Gefässtheils. An den Stelen der Blattstiele nehmen die Vasalprimanen stets eine seitliche Lage am Gefässtheil ein.

An das die Gefässe umgebende, vorwiegend nur einschichtige Vasalparenchym grenzen die an ihrem weiten Lumen und geringen Inhalt leicht kenntlichen Siebröhren. Auch hier ist wieder festzustellen, dass die Siebröhren nicht direct den Gefässen anliegen, sondern stets durch eine Parenchymlage von denselben getrennt bleiben. Vorwiegend bilden die Siebröhren hier nur eine einschichtige Lage, die aber zu einer mehrschichtigen werden kann, sobald es die Raumverhältnisse gestatten. Auf die Siebröhren folgen nach aussen die engen Parenchymzellen des Siebtheils, oder Cribralparenchymzellen. Wo die Siebröhren in mehreren Schichten vertreten sind, findet man die Cribralparenchymzellen auch zwischen dieselben eingeschaltet. Diese Cribralparenchymzellen sind eiweissreich, mit leicht sichtbarem, grossem Zellkern versehen; sie zeigen das charakteristische Verhalten der Siebröhrenbegleiter. Die Länge der inhaltsarmen Siebröhren ist sehr bedeutend, übersteigt um das Vielfache diejenige der Cribralparenchymzellen. — Die Entwicklungsgeschichte lehrt, dass auch hier, wie bei den Equiseten, die Cribralparenchymzellen nicht Schwesterzellen der Siebröhren sind. Eine bestimmte entwicklungsgeschichtliche Beziehung beider ist nicht nachzuweisen. Die Peripherie des Cribralparenchyms nehmen die englumigen Cribralprimanen ein. Soweit aus Siebröhren bestehend, sind diese Cribralprimanen im fertigen Gefässbündel ausser Thätigkeit gesetzt und zeigen stark verquollene Wände, während das Cribralprimanparenchym in Function bleibt. Die Deutung dieser Elemente als Cribralprimanen, die von Russow [2]) herrührt, wurde von v. Janczewski [3]) in Frage gestellt, von K. Thomae [4]) dann wieder

1) Vergl. de Bary, Vergl. Anat., p. 359.

2) Vergl. Unters., p. 101.

3) Etudes comparées sur les tubes cribreux (Mém. de la soc. d. sc. nat. de Cherbourg, Bd. XXIII), p. 222.

4) Die Blattstiele der Farne, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVII, p. 128.

bestätigt. Letzterer fand auch Siebtüpfel an den Wänden dieser Elemente. Die Entwicklungsgeschichte spricht auch entschieden für die Russow'sche Auffassung, indem die Erstlings-Siebröhren zu gleicher Zeit mit den Erstlings-Gefässtracheïden des Gefässbündels in Function treten. Sie entsprechen auch im Bau und in der relativen Lage den Cribralprimanen der Equiseten, deren Deutung sicher steht. Die gesammte Stele wird weiterhin umfasst von einer einfachen, stellenweise eventuell auch verdoppelten Stärkeschicht. Für diese Schicht ist der leicht zu controlirende, entwicklungsgeschichtliche Nachweis geliefert, dass sie mit der ihr angrenzenden Endodermis gleichen Ursprungs ist, sie entsteht mit der Endodermis zugleich durch Theilung gemeinsamer Mutterzellen [1]). Diese Mutterzellen entsprechen dem Phloeoterma [2]), das hier somit, wie in der Wurzel von Equisetum, zweischichtig wird und dessen Innenschicht sich stellenweise nochmals verdoppeln kann. Die vorletzte Rindenschicht ist es hier somit, welche das cutinisirte Radialband trägt, während die stellenweise verdoppelte Innenschicht die Stelle eines Pericykels einnimmt. Diese Endodermis hat durchaus den gewohnten Bau. Mit Anlage der Primanen erhält sie das radiale, alsbald cutinisirende Band in ihren Zellen. Später verkorken ihre Wände im ganzen Umkreis. An den Kanten des Gefässtheils ist der Siebtheil meist, wenn auch nur auf eine kurze Strecke hin, unterbrochen. Vielfach trifft diese Unterbrechung nur die active Zone des Siebtheils, nicht die Cribralprimanen. Oder auch letztere fehlen an dieser Stelle, und der Gefässtheil stösst mit seinen äussersten, meist verengten Gefässen, respective Gefässtracheïden oder dem sie umgebenden Vasalparenchym an die den Pericykel vertretende innerste Schicht des Phloeoterma.

Nach Van Tieghem fehlt auch den Stelen von Polypodium vaccinifolium, glaucum, vulgare etc. der Pericykel, und die innersten Theilungsproducte der inneren Rindenschicht treten an dessen Stelle, während bei einigen anderen Farnen ein echter Pericykel und eine einfach gebliebene, ihrer Gesammtheit nach als Endodermis ausgebildete Rindenschicht vorhanden

1) Russow, Vergl. Unters., p. 195, und Van Tieghem und Douliot, Membres endogènes, p. 539.

2) Ebendas.

sein sollen [1]), wobei freilich als Beispiele Pteris longifolia und aquilina figuriren. Dass bei letzterer die Stelle des Pericykels ebenfalls von einer zur innersten Rindenschicht gehörenden Zelllage eingenommen wird, haben wir bereits gesehen. Das lässt sich freilich nur auf sehr jungen Entwicklungszuständen feststellen, während weiterhin durch nachträgliche Theilungen innerhalb der beiden Schichten des Phloeoterma und ungleiche Ausbildung der entstandenen Elemente die Scheidewände gegen einander vielfach verschoben werden. Bei Russow ist der gemeinsame Ursprung der Endodermis und des die Stele unmittelbar umhüllenden Gewebes ebenfalls für eine Pteris-Art, nämlich Pteris arguta, dargestellt [2]). Bei noch anderen Farnen, wie Davallia canariensis, sollen endlich, nach Van Tieghem [3]), die schwächeren Stelen ohne echten Pericykel sein und eine aus der äusseren Schicht des Phloeoterma erzeugte Endodermis aufweisen, die stärkeren Stelen hingegen ausserdem noch einen echten Pericykel besitzen. In allen Fällen ist es aber nach Van Tieghem und Douliot die innerste Rindenschicht, welche entsprechend den in der Farnenwurzel herrschenden Verhältnissen den aus dem Stamme und der Blattbasis entspringenden Nebenwurzeln den Ursprung giebt [4]).

Für die mechanische Festigkeit haben in dem Stamm und den Blättern der Farne nicht Elemente der Stelen, sondern des gemeinsamen Rindengewebes zu sorgen. Es fällt diese Aufgabe vornehmlich den rothbraun gefärbten Sklerenchymfasern zu, die oft mächtige Stränge und Platten bilden. In den Stelen selbst werden nur selten stärker verdickte Elemente ausgebildet, so nach Mettenius, Russow und de Bary in den Blattstielen bei einigen Trichomanes-, Aneimia-, Gleichenia- und Schizaea-Arten, in Gestalt von Strängen aus Sklerenchymfasern in den Winkeln des V, welches der Gefässtheil bei den Trichomanes, des ohngefähren T, welches er bei Schizaea pectinata bildet; bei Gleichenia dichotoma und polypodioides in Form vereinzelter

---

1) Membres endogènes, p. 540; Traité de Botanique, II. Aufl., p. 767.

2) Vergl. Unters., Taf. IX, Fig. 183.

3) l. c. p. 767.

4) Membres endogènes, p. 529 ff.

Sklerenchymfasern, die dem Rande des Gefässtheils folgen, oft durch Parenchym von demselben getrennt [1]).

Auf die mannigfachen Verschiedenheiten, welche die Gefässbündelcylinder der Farne bieten können, gehe ich hier nicht ein und verweise auf die eingehenden Schilderungen, welche dieselben durch Russow und de Bary erfahren haben. Als ein eigenthümliches, die principiellen Fragen, die wir behandeln, tangirendes Verhältniss sei nur hinzugefügt, dass die Treppengefässe respective Tracheïden in den Stelen oft Stränge von bedeutendem Durchmesser ohne Einschaltung lebendiger Elemente bilden [2]). Der ganze tracheale resp. tracheïdale Strang wird nur von einer gemeinsamen Schicht lebendiger Zellen umgeben.

Besonders mächtig sind solche nur aus Tracheen und Tracheïden bestehende Stränge im Stamme von Osmunda regalis entwickelt, einem Farn, welches wir auch deshalb noch besonders ins Auge fassen, weil es monostel gebaut ist. Schon de Bary [3]) hob hervor, dass die Gefässbündel im Stamme von Osmunda regalis collateral ausgebildet und zu einem einzigen Kreise angeordnet seien. Auch die aus diesem Kreise einzeln austretenden die Blätter versorgenden Gefässbündel weisen, bei sonstiger Annäherung an den Farntypus, collateralen Bau auf. Im Stamme werden die einzelnen Gefässbündel seitlich von einander durch Grundgewebsstreifen geschieden, welche die Bezeichnung von Markstrahlen verdienen, und sie umgeben ein centrales, parenchymatisches, wie die Markstrahlen stärkehaltiges Mark. Eine gemeinsame Endodermis schliesst den Centralcylinder nach aussen ab. An der Innenseite der Gefässbündel sind Vasalprimanen zu beobachten, doch nur an solchen Gefässbündeln, die zu baldigem Austritt aus dem Stamme bestimmt sind. In dem Blattstiel erfährt das Gefässbündel alsbald eine bedeutende tangentiale Streckung und weist dann, seitlich getrennt, eine grössere Anzahl Vasalprimanen-Gruppen an der inneren, concaven Seite seines Gefässtheils auf. Annähernd abwechselnd mit diesen Vasalprimangruppen sieht man dort Stränge aus Vasalparenchymzellen blasenförmig anschwellen. Diese Stränge

1) de Bary, Vergl. Anat., p. 358.
2) Vergl. de Bary, Vergl. Anat., p. 357.
3) Vergl. Anat., p. 360.

weiter Zellen sind bereits Dippel [1]) und de Bary aufgefallen; sie zeigen sich gerbstoffhaltig und dürften wohl Secretbehälter darstellen. — An der Aussenseite der Gefässbündel im Stamm wie im Petiolus ist es leicht, die Siebröhren und das Cribralparenchym zu erkennen, und stellte ich im Gegensatz zu de Bary fest, dass zwischen den Gefässbündeln im Stamm, vor den Markstrahlen der Siebtheil unterbrochen ist. Wie im Stamm, so im Petiolus lassen sich auch die Cribralprimanen in der Peripherie des Siebtheils unschwer nachweisen. Das mehrere Zelllagen starke Gewebe, das zwischen Siebtheil und Endodermis im Stamme liegt und somit die Stelle eines Pericykels einnimmt, geht, wie meine Untersuchungen zeigen, durch tangentiale Theilungen zugleich mit der Endodermis aus der innersten Rindenschicht hervor, so dass es also auch hier, wie an den Stelen von Pteris aquilina, nicht das gesammte Phloeoterma, sondern das äussere Theilungsproduct desselben ist, welches der Endodermis den Ursprung giebt. Die den Pericykel vertretenden inneren Phloeotermalagen schliessen am Siebtheil mit einer stärker verdickten, porösen Zellschicht ab, welche zwischen den Gefässbündeln auf die Elemente der Markstrahlen stösst. In dem Petiolus ist die Endodermis um die Gefässbündel nicht immer leicht zu unterscheiden.

Wie wir aus diesem Beispiel ersehen, kann es monostelische Stämme auch bei den Farnkräutern geben, welche in ihrem Verhalten mit den Equiseten und den Phanerogamen übereinstimmen, collaterale Gefässbündel und dann auch ein von diesen umschlossenes Mark aufweisen. Ganz neuerdings hat Leclerc du Sablon [2]) die Ausbildung der Polystelie und der Monostelie bei den Farnen während der Erstarkung der jungen Pflanzen verfolgt, und die hier zuvor schon niedergeschriebenen Deutungen wurden durch diese seine Untersuchungen nur bekräftigt. Bei Pteris aquilina findet Leclerc du Sablon an der Basis junger Pflanzen nur eine Stele mit einem vom Siebtheil umgebenen Gefässtheil. Dann treten Elemente des Siebtheils auch im Innern der Stele, in der Mitte des Gefässtheils auf. Hierauf wird der Kreis einseitig durch Abgang von Gefässbündelelemen-

1) Das Mikroskop, II. Theil, 1869, p. 201, Fig. 100.

2) Recherches sur la formation de la tige des Fougères, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. sér., Bd. IX, p. 1.

ten nach einem Blatte unterbrochen, der äussere und innere Siebtheil vereinigen sich an der offenen Stelle, die Endodermis nebst Rinde senkt sich in den Centralcylinder ein, der hufeisenförmig gestaltet wird. Dieses Hufeisen kann sich weiter zu einem vollständigen Ringe wieder schliessen, der eine äussere und eine innere Endodermis aufweist, dann wieder öffnen, bis dass weiterhin eine dauernde Trennung zunächst in zwei hufeisenförmige Stelen vollzogen wird. So spielt sich der Vorgang mehr oder weniger auch bei den anderen polystelen Farnen ab. Eine Abweichung weist aber Polypodium aureum auf. In der Mitte der kleinen Stele, an der Basis des jungen Pflänzchens, tritt zunächst parenchymatisches, markartiges Gewebe, doch kein Siebtheil auf. Hierauf wird der vom Gefässtheil gebildete Ring einseitig geöffnet, und es bilden sich Elemente des Siebtheils auch an seiner Innenseite. Dann erfolgt an der Insertionsstelle eines Blattes eine Trennung der hufeisenförmigen Stele in zwei Hälften, und diese Theilungen wiederholen sich weiterhin, bis dass die volle Zahl der Stelen erreicht ist. Osmunda regalis zeigt an der Basis der jungen Pflänzchen die nämlichen Verhältnisse wie Polypodium aureum. Es tritt Markgewebe im Centrum der Stele auf. Der aus dem Gefässtheil und dem äusseren Siebtheil gebildete Ring wird weiterhin fractionirt und in einzelne collaterale Gefässbündel geschieden, während das Mark an Weite zunimmt. Der Centralcylinder selbst bleibt als Ganzes erhalten und von der gemeinsamen Rinde umgeben.

Während die Monostelie bei den Phanerogamen das herrschende Verhalten darstellt, ist sie bei den Gefässkryptogamen selten und ausser den Equiseten und Osmunda nur noch bei Botrychium und Helminthostachys zu beobachten [1]). Letztere beiden Pflanzen bringen es sogar so weit, mit Hilfe eines Cambiumringes in die Dicke zu wachsen [2]).

Polystel ist hingegen auch, trotz entgegengesetzten Scheines, Marsilia, bei welcher eine seitliche Verschmelzung von Stelen, in einem Worte das vorliegt, was Van Tieghem als Gamostelie bezeichnet [3]). Die Stelen sind im Rhizom von Marsilia zu einem

1) Sur la Polystélie, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. sér., T. III, p. 316.

2) Vergl. Botanisches Practicum, II. Aufl., p. 178.

3) Sur la Polystélie, p. 315, und Traité de Botanique, II. Aufl., p. 766.

Hohlcylinder verschmolzen, der seine wahre Natur deutlich dadurch verräth, dass er sowohl an der Aussen- wie an der Innenseite einen Siebtheil besitzt und sowohl nach aussen wie nach innen von einer Endodermis abgeschlossen ist. Das von der inneren Endodermis umschlossene Grundgewebe des Stammes hat hier sicher nicht den morphologischen Werth eines Markes und kann nur als ein innerer abgeschlossener Theil der Rinde gelten [1]). Die Endodermis gehört somit zu beiden Seiten des gamostelen Kreises dem Phloeoterma an.

Der Einschränkung wegen, die ich mir nothwendiger Weise auferlegen musste, sollen die Gefässbündelendigungen hier nur für die Blätter von drei Farnen: Pteris aquilina, Scolopendrium vulgare und Osmunda regalis, Erwähnung finden. Die Uebereinstimmung ist, trotz der Wahl ziemlich entlegener Arten, so gross, dass sich annehmen lässt, dass die gefundenen Verhältnisse ziemlich allgemein für die Farne gelten dürften. Da Pteris aquilina besonders prägnante Bilder gab, will ich mich hier vornehmlich an dieselbe halten. Bereits durch Prantl[2]), hauptsächlich aber durch Haberlandt [3]) ist es bekannt geworden, dass innerhalb der Farnblätter die Gefässbündel aus dem „concentrischen" Bau in den collateralen übergehen. Prantl gab dies für Hymenophyllaceen zunächst an, Haberlandt hat es verallgemeinert. Eigenthümlicher Weise wurde aber von Haberlandt, um den Uebergang vom „concentrischen" zum „collateralen" Bau zu illustriren, Osmunda regalis gebraucht, welche von Anfang an collateral ist. Das Markgewebe des Centralcylinders, welches die wirklichen einfachen Blattbündel von Osmunda auf deren Oberseite begleitet, wurde für „Leptom", also für einen Siebtheil gehalten und dessen allmähliche Abnahme und schliessliche Durchbrechung geschildert. Auch in den anderen Fällen wird die Bezeichnung eines bestimmten Theiles der Stele als Leptom nur auf den allgemeinen Eindruck hin vorgenommen und ist daher nicht immer zutreffend.

1) Vergleiche hierzu die Beschreibung bei Russow, Vergl. Unters., p. 1 ff., und seine Abbildungen l. c. Taf. I, Fig. 1 und 2, und Taf. X, Fig. 1.

2) Untersuchungen zur Morph. d. Gefässkryptogamen, I. Heft, Die Hymenophyllaceen, 1875, p. 18 ff.

3) Ueber collaterale Gefässbündel im Laube der Farne, Sitzber. d. Wien. Akad. d. Wiss., Bd. LXXXIV, 1881, p. 121.

Bei Pteris aquilina ist noch die mediane Stele eines jeden Blättchens mit einem oberen und einem unteren Siebtheil versehen, der obere Siebtheil erscheint aber bereits stark reducirt, und sind seine Siebröhren wesentlich enger als diejenigen des unteren Siebtheils. Eine solche kleine Stele zeigt ein doppeltes Phloeoterma, dessen äussere, das cutinisirte Band tragende, somit die Endodermis bildende Zellen wesentlich weitlumiger als die inneren sind. Die Zellen der Endodermis erscheinen hier ausserdem an Alcohol-Präparaten mit einem gelbbraunen homogenen Inhalt erfüllt, der nur ein enges Lumen frei lässt, und setzen auf solche Weise scharf gegen die plasmareiche innere Phloeotermaschicht ab. An frischen Präparaten verrathen die Endodermiszellen einen starken Gerbstoffgehalt. An die inneren Phloeotermazellen, die auch in fertigem Zustande noch deutlich ihren gemeinsamen Ursprung mit der Endodermis verrathen, setzen an der Oberseite direct die engen, an ihren weissen, stärker das Licht brechenden Wandungen kenntlichen Siebröhren an. Dann folgen plasmareiche weitere Vasalparenchymzellen, dann ein bis zwei Schichten von Gefässtracheïden, von denen die engsten, meist obersten schraubenförmig, die anderen treppenförmig verdickt sind. Dann folgen im Anschluss an diese Gefässtracheïden an der Unterseite wieder inhaltsreiche Vasalparenchymzellen, dann wenig engere Siebröhren, wieder eine mehr oder weniger geschlossene Schicht von Parenchymzellen, die als Cribralparenchymzellen gelten müssen, und endlich wieder das innere Phloeoterma. An den beiden Seiten der Stele stossen die Gefässtracheïden, respective Vasalparenchymzellen direct an das innere Phloeoterma. Die schwachen Seitennerven des Blättchens, die von dem medianen Nerven bis zum Rande verlaufen, zeigen sich noch wesentlich vereinfacht. Nur in den stärksten dieser Stelen, und zwar nur in dem unteren Theile ihres Verlaufs, sind noch Siebröhren an der Oberseite zu finden, meist führen sie Siebröhren nur an der Unterseite, und sind diese Siebröhren jetzt ebenso eng, ja noch enger als die in der medianen Stele an der Oberseite gelegenen. Hingegen fallen die Parenchymzellen der Stele durch ihre Weite, ihren reichen plasmatischen Inhalt und ihre grossen Zellkerne auf. Sie spielen hier augenscheinlich dieselbe Rolle wie die Uebergangszellen bei den Dicotylen. In der sehr bedeutenden Reduction des Lumens der Siebröhren, der Erweiterung des

Lumens der sie begleitenden Parenchymzellen stimmen somit diese Gefässbündelenden mit denjenigen der Angiospermen überein; freilich sind hier aber die mit den Uebergangszellen verglichenen Elemente anderen Ursprungs, nicht Mutterzellen von Siebröhren und Geleitzellen wie dort, vielmehr ihrer Lage nach Vasalparenchymzellen. Der Bau dieser kleinen Stelen ist nun der, dass auf das doppelte Phloeoterma, dessen äussere Schicht auch hier als Endodermis entwickelt, dessen innere Schicht sehr abgeflacht ist, oben zunächst Vasalparenchym, dann die Gefässe, oder auch direct die Gefässe in noch doppelter oder schon einfacher Schicht, dann die weite Parenchymzellschicht die wir mit den Uebergangszellen verglichen haben, dann die engen Siebröhren mit einigen inhaltsreichen Parenchymzellen etwa noch untermischt, dann noch eine solche Parenchymzellschicht, die aber bereits auch fehlen kann, folgen. Die Blättchen von Pteris aquilina besitzen einen etwas angeschwollenen und nach unten eingeschlagenen Rand, der dort in einen durchsichtigen, hautförmigen, einschichtigen Saum ausläuft. Die Seitennerven der Blättchen enden in dem angeschwollenen Rande. Man sieht sie hierbei etwas stärker werden, und zwar auf Kosten der sich vermehrenden und erweiternden Gefässtracheïden, die in diesen Enden den Raum innerhalb des Phloeoterma allein ausfüllen. Die übrigen Gewebe erlöschen dicht unter dem Rande. Das doppelte Phloeoterma schliesst über dem tracheïdalen Ende der Stele zusammen, es kann eventuell aber auch an die Epidermis ansetzen und letztere die Decke bilden, welche die Stele abschliesst.

Wie wir sehen, gehören die Farne zu solchen Pflanzen, bei welchen das Phloeoterma aus dem Stamme bis zu den Gefässbündelenden in den Blättern sich sicher verfolgen lässt. Nicht nur behält die äussere Schicht des Phloeoterma bis zuletzt die cutinisirten Bänder, sie bleibt auch an ihrem Gerbstoffgehalte, der sich an Alcoholmaterial durch die gelbbraune Färbung offenbart, leicht kenntlich.

Interessant ist hier die Verschiedenheit im Inhalte der beiden Schichten des Phloeoterma, der Gerbstoffgehalt der äusseren, der Plasmareichthum der inneren Schicht.

In den relativ grossen Stelen des Blattstiels sind die Siebtheile annähernd gleich zu beiden Seiten der bandartigen Gefässtheile entwickelt. Die zahlreichen Siebröhren, mit Cribral-

parenchym untermischt, zeichnen sich auch durch ihre weisse Färbung aus und überwiegen noch die Cribralparenchymzellen an Weite des Lumens. Im Anschluss an die Innenschicht des Phloeoterma sind enge Cribralprimanen zu sehen, die im Mediannerven der Blättchen höchstens nur noch ganz vereinzelt sich antreffen lassen.

Bei Osmunda regalis liegen die Verhältnisse ganz ähnlich, und sind die reducirten Nerven kaum anders als bei Pteris gebaut. Es handelt sich bei Osmunda, wie schon erwähnt, im Blatte nicht um eine Stele, sondern um ein vom Grundgewebe des Centralcylinders und dem Gewebe des Phloeoterma umschlossenes, einfaches Gefässbündel. Im reducirten Zustande entsprechen sich aber beide Bildungen vollständig. Die Innenschicht des Phloeoterma hat hier die Neigung, sich oft noch weiter zu theilen. Die äussere Phloeotermaschicht führt das cutinisirte Band und bildet somit eine Endodermis. Das Band tritt hier weniger vor als bei Pteris und ist daher von Haberlandt nicht gefunden worden [1]), zeichnet sich aber doch scharf nach Behandlung der Schnitte mit Schwefelsäure. Die Bündelenden an den Rändern der Blättchen entsprechen vollständig denjenigen bei Pteris aquilina.

Scolopendrium officinarum soll nach Haberlandt das einzige von ihm untersuchte Farn sein, das gar keine „collaterale Bündel" aufweist. „Auch die schwächsten Gefässbündel", schreibt Haberlandt, „sind noch excentrisch, indem auf der Oberseite eine einzige Cambiformzelllage zwischen das Hadrom und die Parenchymscheide sich einschiebt." Thatsächlich sind aber auch die feinen und feinsten Auszweigungen der Stelen bei Scolopendrium officinarum nicht anders als bei Pteris gebaut. Die „Cambiformzelllage" über den Gefässen in feinen Nerven ist eine Vasalparenchymschicht, während die engen, auch hier an ihren weissen Wänden kenntlichen Siebröhren an der Unterseite allein zu finden sind. Nur in besonders starken Seitennerven kann auch noch ein oberer schwacher Siebtheil entwickelt sein.

Um die Natur der einzelnen Elemente im Centralcylinder der Farnwurzeln sicher bestimmen zu können, wandte ich mich an die relativ dicken und sonst auch zum Studium geeigneten

1) l. c. p. 132.

Wurzeln am Stamm von Blechnum brasiliense. Die Gefässe im Centralcylinder bilden einen relativ mächtigen, im Querschnitt elliptischen Strang, der an seinen beiden schmäleren Rändern die wenig zahlreichen Vasalprimanen führt. Die innersten Gefässe dieses Stranges werden relativ spät fertig gestellt. Alle die den Strang bildenden Gefässe, mit Ausnahme der Primanen, sind treppenförmig getüpfelt und zwischen diesen Treppengefässen Vasalparenchym reichlich eingefügt. Solches Vasalparenchym umzieht auch den ganzen Strang an seiner Oberfläche. Zwischen die Gefässe eingeschaltetes Vasalparenchym, wie es hier zu beobachten ist, kommt nur bei massiger Entwicklung des Gefässstranges den Farnwurzeln zu, und ist bis jetzt nur für wenige Fälle constatirt [1]). An die beiden Flanken des Gefässtheils schliesst der relativ englumige Siebtheil mondsichelförmig an. Auf Längsschnitten ist sicherzustellen, dass derselbe aus langen Siebröhren und weit kürzeren, mit gestreckten Zellkernen versehenen Cribralparenchymzellen besteht. Sehr leicht sind in der Peripherie des Siebtheils die noch wesentlich englumigeren, mit glänzenden Wänden versehenen Cribralprimanen zu unterscheiden. Dann folgt im ganzen Umkreis das Gewebe des Pericykels, das vor den Siebtheilen etwa dreischichtig, vor den Vasalprimanen nur etwa ein- bis zweischichtig ist. Die Elemente des Pericykels sind parenchymatisch, von relativ geringer Länge, sie stossen mit queren Wänden auf einander.

Dieses eine Beispiel kann hier genügen, da es mir hier hauptsächlich nur um die Feststellung der Natur der in den Aufbau des Centralcylinders der Farnwurzel eingehenden Elemente zu thun war, diese Elemente aber bei anderen Farnen ebenso wiederkehren. Wegen sonstiger die Farnwurzeln betreffenden Verhältnisse kann ich hingegen auf die äusserst sorgfältigen Untersuchungen von Van Tieghem und Douliot verweisen [1]).

Die Stelen der Selaginellen sind denjenigen der Farne ähnlich gebaut, in einigen Punkten immerhin abweichend. Man

---

1) Vergl. Russow, l. c. p. 103.

2) Recherches comparatives etc., p. 363.

findet dieselben in Ein- oder Mehrzahl, je nach den Arten, im Stamme, wo sie, was besonders auffällt, in hohlen Gängen aufgehängt erscheinen. Die Stele ist nur durch feine Fäden mit dem umgebenden Grundgewebe verbunden, und diese Fäden lassen sich entweder als einfache chlorophyllfreie Zellen, oder auch als Zellreihen, die sich nach aussen vermehren und chlorophyllhaltig werden, erkennen. Die Zwischenräume sind in beiden Fällen mit Luft erfüllt.

Bei der in Gärten verbreiteten Selaginella Martensii wird die Stele von Fäden, den s. g. Trabeculae, getragen, die mit einer einfachen, schmalen Zelle der Oberfläche dieser Stele entspringen, dann aber unvermittelt in blasenförmig angeschwollene Zellen übergehen. Letztere, gleich in Mehrzahl, nicht selten zu vier, von der schmalen Zelle ausgehend, setzen selbst direct, oder durch Vermittlung anderer ebensolcher Zellen, an die Wandung des Hohlganges an. In der schmalen, chlorophyllfreien, kurzen oder auch stark gedehnten Zelle, welche von der Oberfläche der Stele ausgeht, ist es leicht, in annähernd halber Länge ein cutinisirtes Band nachzuweisen. Es handelt sich in diesen Zellen, wie neuerdings von Leclerc du Sablon [1]) und von Vladescu [2]) angegeben wurde, um eine ganz eigenthümliche Endodermis. Lässt man Schwefelsäure auf die Präparate einwirken, so sieht man leicht, dass die ganze freie Oberfläche der Stele von einer Cuticula bedeckt ist, und dass diese sich an den Endodermiszellen mindestens bis zu dem cutinisirten Bande, meistens bis an deren Ende fortsetzt. So ist auch, trotz dieser eigenen Ausbildung der Endodermis, und trotzdem die Stele von Luft umgeben ist, für einen luftdichten Verschluss des Centralcylinders gesorgt. Ja dieser Fall ist besonders instructiv, weil er so recht klar die Function der Endodermis vorführt. Dass dieselbe hier nicht der Festigung des Centralcylinders dienen kann, liegt auf der Hand. Die blasenförmig angeschwollenen, chlorophyllhaltigen Zellen der Fäden sind an ihrer Oberfläche kaum cutinisirt und ebensowenig auch die freie Oberfläche der von aussen an den Hohlgang grenzenden Zellen. Hingegen sind an letzteren oft unregelmässige, spröde, farblose

1) Sur l'endoderme de la tige des Sélaginelles, Journal de Botanique, 1889, p. 207.

2) Communications préliminaires sur la structure de la tige des Sélaginelles, ebendas. p. 261.

Belege zu sehen, die Kieselsäure zu sein scheinen. Die von Leclerc du Sablon gegebene Abbildung [1]) von Selaginella hortensis zeigt den Hohlraum nur von einfachen, in der Mitte mit dem cutinisirten Bande versehenen Endodermiszellen durchsetzt. — Die im Querschnitt gestreckt elliptische Stele von Selaginella Martensii ist diarch gebaut, das heisst, sie zeigt an den beiden Kanten ihres schmalen Gefässtracheïdenbandes Vasalprimanen. Von diesen aus schreitet hier, wie sonst in Wurzeln, die Bildung der weiteren, treppenförmig verdickten Gefässtracheïden fort. Das compacte, nur aus Gefässtracheïden bestehende Band wird von Vasalparenchym umfasst, weiter folgen zu den beiden Seiten des Gefässtheils Siebröhren und Cribralparenchym. Auch diese Siebtheilbänder schliessen an ihren Rändern mit Cribralprimanen ab. An den beiden Kanten des Gefässtheils sind diese Siebtheile unterbrochen. Der Gefässbündelcylinder wird umgeben von einer weitlumigen, ein bis zwei Zellen starken Gewebsschicht, welche die Stelle eines Pericykels einnimmt, thatsächlich aber auch hier bereits der Rinde angehört [2]). An diese Gewebsschicht setzen die schmalen, von einander allseitig getrennten Endodermiszellen an. Auch der Stellung dieser Endodermiszellen nach könnte man zunächst geneigt sein, das peripherische Gewebe des Centralcylinders demselben zuzurechnen und somit für echtes Pericykelgewebe zu halten. Thatsächlich gehört aber, wie die entwicklungsgeschichtlichen Untersuchungen von Vladescu zeigen [3]), dieses Gewebe noch zur Rinde. Es liegt hier somit ein ähnliches Verhältniss vor, wie bei den zuvor behandelten Farnen: die innerste, respective die zwei innersten Rindenschichten nehmen die Stelle des Pericykels ein, die nach aussen folgende Rindenschicht, die mit den inneren gleichen Ursprungs ist, bildet die Endodermis. Alle diese Schichten und auch noch die nach aussen folgende, welche die Trabeculae ausserhalb der Endodermis aufbaut, sind auf die Theilung der ursprünglich innersten Rindenschicht, des Phloeoterma, zurückzuführen. Zur Rinde ist also bei Selaginella

1) l. c. p. 208.

2) Diese Schicht bezeichnet neuerdings Wojinowić als Schutzscheide an, was jedenfalls nicht zutrifft, Beiträge zur Morphologie, Anatomie und Biologie der Selaginella lepidophylla, Inaug.-Diss., Breslau 1890, p. 13.

3) l. c. p. 263.

nicht nur das gesammte von der Epidermis umschlossene Gewebe bis an die Hohlräume heran zu rechnen, in welchen die Centralcylinder suspendirt sind, sondern auch die Trabeculae sammt Endodermis und das die Stelle des Pericykels um die Stelen einnehmende Gewebe. Ich hatte keinen Grund, die inzwischen erschienenen Angaben von Vladescu anzuzweifeln, da ich bereits bei Selaginella und Lycopodium auf Grund entwicklungsgeschichtlicher Untersuchungen zu einem entsprechenden Resultate gelangt war. Die für Selaginellen charakteristische, seitliche Trennung der Endodermiszellen vollzieht sich schon in geringer Entfernung vom Vegetationspunkte und ist Folge frühzeitig unterbliebener radialer Theilungen innerhalb dieser Zellschicht. Zu der Zeit, wo die Vasalprimanen in Function treten, sieht man die zur Bildung der Endodermis bestimmten Zellen seitlich auseinanderweichen und radiale Streckung erfahren. In diesen isolirten Zellen folgen hierauf erst die tangentialen Theilungen, welche zur Bildung der Trabeculae führen, in welchen nur die innerste Zelle als Endodermiszelle ausgebildet wird.

Der Centralcylinder eines Lycopodium [1]) schliesst in seinem Bau an die Stelen der Selaginellen durchaus an und lässt sich phylogenetisch als eine Verschmelzung solcher Stelen, somit als Gamostele auffassen. Er tritt als einheitliches Gebilde in die Erscheinung, doch sein Inneres ist durchsetzt von Gefässtheil- und Siebtheil-Bändern, die vielfach von einander vollständig getrennt sind. Bei Arten mit aufrecht wachsendem Stamm stossen die Gefässtheile im Innern der Gamostele für gewöhnlich zusammen; bei Arten mit niederliegendem Stamm sind sie zu mehr oder weniger vollständig getrennten, der Bodenoberfläche annähernd parallelen Platten ausgebildet. Diese Platten tragen an ihren äusseren Rändern die ring-, schrauben- und netzförmig verdickten Vasalprimanen; von letzteren schreitet die Bildung der treppenförmigen Gefässtracheïden centripetal fort, was diesen Stelen ein ganz wurzelähnliches Aussehen verleiht. Die gesammten Gefässtracheïden eines jeden Bandes stellen auch hier eine compacte Masse dar, ohne Einschaltung

1) Russow l. c. p. 128; de Bary l. c. p. 363.

von Vasalparenchym. Dass es sich in diesen Elementen wirklich nur um Gefässtracheïden, nicht um Gefässe handelt, das stellt man hier noch leichter als bei Selaginella fest. Sie stossen mit sehr stark geneigten Endflächen, sich entsprechend zuschärfend, auf einander, und diese Endflächen sind von ganz denselben, dicht gedrängten, engen, quergestreckten Hoftüpfeln mit erhaltenen Schliesshäuten, wie die gemeinsamen Seitenwände, bedeckt. Die Terminalwand erscheint somit ganz ebenso treppenförmig verdickt wie die Seitenwände. — Wirkliche Durchbrechungen der Terminalwände sind überhaupt nur in ganz wenigen Fällen bis jetzt bei den Gefässkryptogamen nachgewiesen worden, und die zunächst behandelte Pteris aquilina zählt unter diesen Ausnahmen [1]). Das Gefässtracheïdenband von Lycopodium wird von nur einer Schicht Vasalparenchym als Ganzes umgeben. Mit diesen Vasalparenchymzellen hängen die Gefässtracheïden durch einseitig behöfte Tüpfel zusammen. Den Raum zwischen den Gefässtheilen nehmen die Siebtheile ein. Sie schliessen mit Cribralparenchym an das Vasalparenchym an. In der Mitte der Streifen liegen die meist deutlich weiteren, relativ inhaltsarmen Siebröhren. Das Vasalparenchym kann, wenn auch nicht eben häufig, Stärke enthalten, das Cribralparenchym führt Protoplasma und Oeltröpfchen, ist aber nicht an allen Orten scharf von dem Vasalparenchym zu scheiden. An den äusseren Kanten der Siebtheile, die aber weniger weit als die Kanten der Gefässtheile einspringen, findet man unschwer die englumigen Cribralprimanen. Alle die Gefässbündeltheile werden gemeinsam von einem gestreckt parenchymatischen Gewebe umgeben, das je nach den Arten verschieden stark ist, vor der Kante des Gefässtheils bis auf eine Zellschicht zurückgehen kann. Seine Elemente sind meist weitlumiger als diejenigen des Gefässbündelparenchyms und führen auf jüngeren Zuständen Stärke. Seiner Lage nach könnte dieses Gewebe auch hier zum Centralcylinder gehören und Pericykelgewebe sein, thatsächlich kann man aber auf hinlänglich jungen Ent-

1) Auch die Wurzel von Aspidium filix femina nach Russow, Vergl. Unters., p. 103. Die Literatur dieses Gegenstandes vergl. besonders bei Terletzki, Anatomie der Vegetationsorgane von Struthiopteris germanica und Pteris aquilina, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 476 ff.

wicklungszuständen die Zellreihen der innersten Rinde bis auf die Primanen des Gefäss- und Siebtheils hin verfolgen. Auch hier somit, wie bei Selaginella, handelt es sich um unmittelbar an die Gefässbündel anstossende, die Stelle des Pericykels einnehmende Rindenschichten. Die Seitenwurzeln, welche nach Van Tieghem bei Lycopodium aus dem „Pericykel" des Stammes entspringen und daher eine Ausnahme bilden sollen [1]), würden sich somit nicht anders als diejenigen der anderen Gefässkryptogamen verhalten und ihren Ursprung in einer innersten Rindenschicht finden. Auf die den Pericykel vertretenden Rindenschichten folgt als einfache Zellschicht auch bei Lycopodium die Endodermis. Sie ist als solche im Stamme der Lycopodium-Arten nicht leicht nachzuweisen, weil ihre Zellen alsbald im ganzen Umkreis cutinisiren und das charakteristische Aussehen von Endodermen einbüssen. Unter Umständen kann man aber auf jungen Zuständen auch das cutinisirte Band an den radialen Wänden sehen. Van Tieghem giebt es für Lycopodium inundatum an [2]); ich sah es am besten bei Lycopodium Selago. Die Verkorkung setzt sich bei Lycopodium auf die nächste und selbst übernächste Rindenschicht jenseits der Endodermis fort, und da diese Zellschichten auch wie die Endodermis lückenlos verbunden sind, sich nicht stärker verdicken und tangentiale Streckung erfahren, so glaubt man im fertigen Zustande eine aus mehreren gleichwerthigen Zellschichten gebildete Rindenscheide hier vor sich zu haben. — Auch in Lycopodium-Wurzeln ist die Endodermis nicht leicht nachzuweisen, dort aber schon 1871 von Van Tieghem angegeben worden [3]). — An die vorerwähnten lückenlos verbundenen Zellschichten im Stamm von Lycopodium schliessen bei den meisten grösseren Arten sklerenchymatisch verdickte, kleine Intercellularen zwischen sich lassende Elemente an, welche für den Schutz der inneren Theile und die nöthige Festigkeit des Stammes zu sorgen haben. Nach aussen zu werden diese Elemente dann meist weitlumiger, um in der Epidermis ihren Abschluss zu finden.

1) Recherches comparatives etc., Ann. d. sc. nat.. Bot., VII. sér., T. VIII, p. 553 ff.

2) Recherches comparatives, l. c. p. 553.

3) Symétrie de structure des plantes, Ann. d. sc. nat., Bot., V. sér., T. XIII, p. 84.

de Bary giebt an [1]), das die Gefässtheile umgebende, durchschnittlich zwei Zellschichten starke Parenchym sei bei den meisten Lycopodium-Arten ausgezeichnet durch Intercellularräume und lockere, leicht trennbare Verbindung der Zellen. Er führt L. clavatum und annotinum besonders als Beispiel an. Ich fand hingegen dieses den Pericykel vertretende Rindengewebe, das ja innerhalb der Endodermis liegt, der allgemeinen Regel nach, frei von Intercellularen. Schneidet man Alcoholmaterial, so kann man sich von dem Fehlen solcher Intercellularen leicht überzeugen. Beim Schneiden von frischem Material trennen sich hingegen die inneren Zellen dieses Gewebes ausserordentlich leicht von einander und dem Gefässbündeltheile des Centralcylinders. So erhält man in fast allen Schnitten Lücken, die aber erst durch die Präparation entstanden sind.

Die Blattbündel der Lycopodiaceen werden zur Sicherstellung des Werthes ihrer einzelnen Elemente noch weitere Untersuchung verlangen. Ich begnügte mich, diejenigen Thatsachen zu ermitteln, die in Beziehung zu den hier behandelten Fragen stehen. Es war mir zunächst darum zu thun, festzustellen, ob die Blattbündel der Lycopodiaceen ähnliche Säume wie diejenigen der Gymnospermen besitzen. Im Hinblick auf die sonstigen Beziehungen, die man zwischen Lycopodiaceen und Gymnospermen anzunehmen pflegt, war eine solche Uebereinstimmung wohl denkbar, und sogar aus dem Grunde, dass auch die Lycopodiaceen nur einfache, unverzweigte, mediane Nerven in ihren Blättern besitzen, nicht ganz unwahrscheinlich. Trotzdem stellte es sich heraus, dass den Blattbündeln der Lycopodiaceen Bildungen, die den Gefässbündelsäumen der Gymnospermen zu vergleichen wären, abgehen. Bei Lycopodium Selago und clavatum, Selaginella Martensii und caesia, die ich untersuchte, zeigte das Blattbündel nur sehr geringen Querschnitt und war von relativ sehr englumigen Elementen gebildet. Die Mitte dieses Bündels nahm eine grössere oder geringere Zahl ring- und schraubenförmig verdickter Gefässtracheïden ein. Sie zeigten sich umgeben von gestreckten, plasmareichen Parenchymzellen. In diesem Parenchym befanden sich dann im Umkreise einzelne englumigere Siebröhren eingebettet [2]). Hierauf ging

1) l. c. p. 364.

2) Ganz entsprechend lautet bereits die Beschreibung von Russow, Vergl. Unters., p. 131.

das Parenchym allseitig in Elemente über, die weiter und kürzer wurden. Eine Endodermis liess sich auch nach Behandlung mit Schwefelsäure nicht nachweisen [1]), wohl aber erwiesen sich alsdann die primären Wände der das Bündel umgebenden, lückenlos verbundenen Elemente als verholzt. Ob diese „Medianbündel" der Blätter von Lycopodium und Selaginella als einfache Bündel oder sehr schwache Stelen aufzufassen seien, müssen spätere Untersuchungen entscheiden. Für die Deutung als Stelen würde die Vertheilung der Siebröhren im Umkreis des Gefässtheils sprechen. — Bei mehreren Isoëtes-Arten, die ich untersuchte, wird der einfache Blattnerv hingegen von einem einfachen collateralen Gefässbündel durchzogen. Dieses Gefässbündel ist schon wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen, ganz neuerdings widmete Kruch demselben einen besonderen Aufsatz [2]). Mit Recht hat bereits Russow auf die Aehnlichkeit dieses Blattbündels der Isoëten mit demjenigen der Cycadeen hingewiesen [3]), so würde denn in der That, wenigstens an dieser Stelle, eine Anknüpfung zu finden sein, die uns in Betreff der Gefässbündelsäume versagte. Annähernd übereinstimmend bei den untersuchten Isoëtes-Arten zeigt das Blattbündel an einer, der Blattoberseite zugekehrten Seite, in Vasalparenchym eingebettet, einen queren Streifen aus isolirten, sehr engen, ring- und schraubenförmig verdickten Gefässtracheïden. Die Mitte des Blattbündels nimmt, je nach den Arten, ein relativ weiter, respectiv ein weiterer, und rechts und links von demselben je ein engerer Intercellulargang ein. Diese Intercellulargänge sind von je einer Zellschicht lückenlos umschlossen. Dann folgt nach aussen bei Isoëtes Durieui ein Bogen aus weissglänzenden, ziemlich dickwandigen Elementen, welchem Bogen rechts und links ähnlich verdickte, doch weit englumigere Elemente bandartig nach aussen anschliessen. Kruch hat ganz richtig die weitlumigeren Elemente dieses Bogens als verdicktes, mechanisch wirksames Parenchym gedeutet [4]). Es

---

1) Auch Russow, Vergl. Unters., p. 136, fand bei Selaginella keine solche.

2) Istologia ed istogenia del fascio conduttore delle foglie di Isoetes, Malpighia, Vol. IV, 1890; vergleiche dort die übrige Litteratur.

3) Vergl. Unters., p. 154.

4) l. c. p. 5. (Sep.-Abdr.)

dürfte als Vasalparenchym zu deuten sein. Die beiden Bänder englumiger Elemente sind Siebröhren. Die engsten derselben sind schon von Russow und von v. Janczewski als Cribralprimanen gedeutet worden; etwas weitlumigere und dünnwandigere, die nach aussen folgen, hebt auch schon v. Janczewski hervor und weist auf deren übereinstimmenden Inhalt mit den engeren Siebröhren hin [1]). Auch Kruch deutet sie als Siebröhren [2]), was jedenfalls richtig und nur dadurch auffallend wird, als diese Siebröhren ausserhalb der Primanen zu liegen kommen. Die centrifugale Entwicklung würde sich in den Blattbündeln von Ioëtes somit auch auf den Siebtheil erstrecken, ähnlich wie sie von Russow für den Gefässtheil von Isoëtes bereits angegeben wurde [3]). Zwischen den beiden Siebtheilen setzt sich das verdickte Vasalparenchym nach aussen fort und tritt hier in Verbindung mit dem umgebenden Parenchym, das in mehreren, sonst nicht anders abgesetzten Zellschichten lückenlos das Gefässbündel umschliesst. Ausserhalb dieses Gewebes finden wir rechts und links einige Intercellulargänge vor. — Im Wesentlichen denselben Bau wie bei Isoëtes Durieui haben die Blattbündel auch der anderen Isoëten-Arten, doch ist Isoëtes Malinverniana dadurch ausgezeichnet, dass der Siebtheil einen einzigen, in der Mitte nicht unterbrochenen Bogen bildet [4]). — Im Gegensatz zu Lycopodium und Selaginella wird das, das Gefässbündel umgebende Gewebe bei Isoëten von concentrirter Schwefelsäure vollständig gelöst, während, auffallender Weise, in der die inneren Intercellulargänge des Gefässbündels umscheidenden Vasalparenchymschicht cutinisirte Radialbänder deutlich werden [5]). Eine typische Endodermis tritt uns hier somit im Innern eines Gefässbündels entgegen als instructiver Beleg für unsere frühere Behauptung, dass die Ausbildung cutinisirter Radialbänder zum Zwecke eines luftdichten Abschlusses nicht an morphologisch bestimmte Gewebe gebunden ist. Ich stellte fest, dass diese inneren Intercellulargänge des Gefäss-

1) l. c. p. 251.

2) Vergl. auch die Abbildung bei v. Janczewski, T. V, Fig. 10, und Kruch, Taf. II, Fig. 6.

3) Vergl. Kruch, l. c. p. 5 und Taf. I, Fig. 3, Taf. III, Fig. 8.

4) Vergl. auch de Bary, Vergl. Anat., p. 351.

5) Dieses Verhalten war zuerst Russow, Vergl. Unters., p. 140, Anm., für Isoëtes Engelmanni aufgefallen.

bündels im Isoëtesblatte Wasser führen. Ihnen dürfte ganz vorwiegend die Wasserleitung zufallen. Und so war es wohl vortheilhafter, hier nur diesen Kanal, nicht das ganze Gefässbündel mit einer Endodermis zu umgeben. In der amphibischen, bei uns submers erzogenen Isoëtes Malinverniana fand ich nur das Radialband in der Endodermis cutinisirt; bei der submersen, in Alcohol aufbewahrten Isoëtes lacustris war auch die Innenseite des Intercellularkanals mit einer feinen Cuticula überzogen, bei den terrestren Isoëtes Durieui und Hystrix zeigten sich ausserdem die ganzen Wände der Endodermis und zum Theil auch die Wände innerhalb der Gefässtheile cutinisirt, beziehungsweise verholzt. Auch zeichneten sich alle Elemente des Gefässbündels bei den terrestren Formen durch grössere Dicke und engeres Lumen aus. Die Ausbildung des cutinisirten Bandes in den Endodermen um die inneren Intercellulargänge der Blattbündel von Isoëtes, die übereinstimmend schon von Russow, de Bary und von v. Janczewski beobachtet und von letzterem auch abgebildet wurde, stellt Kruch für die von ihm untersuchten vier Arten: I. Malinverniana, Durieui, Hystrix und velata in Abrede [1]). Einflüsse des Standortes und der Entwicklung machen sich thatsächlich auf die Art der Ausbildung des cutinisirten Bandes geltend, und hieraus lässt sich bis zu einem gewissen Maasse der Widerspruch in der Kruch'schen Angabe erklären. Die submers in unserem Garten cultivirten Arten zeigten das cutinisirte Band besonders schön [2]). — Russow hat bereits, wie schon erwähnt wurde, auf die centrifugale Entwicklung im Gefässtheil der Isoëtes-Blattbündel hingewiesen [3]). Dann stellte v. Janczewski für Isoëtes Durieui fest, dass die Intercellulargänge im Innern des Blattbündels aus den Vasalprimanen hervorgehen, deren Desorganisation sehr frühzeitig beginnt [4]). Dasselbe wird nun auch im Einzelnen von Kruch erwiesen [5]). Die Intercellulargänge im Innern der Blattbündel der Isoëten gehen in einem Worte aus je einer Gefässtracheïde hervor, die, als Vasalprimane entwickelt, rasch

1) l. c. p. 6. (Sep.-Abdr.)

2) Vielleicht am schönsten Isoëtes echinospora.

3) Vergl. auch de Bary, Vergl. Anat., p. 351.

4) Etudes comparées sur les tubes cribreux, Mém. de la soc. des sc. nat. de Cherbourg, Vol. XXIII, p. 252.

5) l. c. p. 15. (Sep.-Abdr.)

resorbirt wird. — Wie von Kruch angegeben wird, vereinigen sich bei denjenigen Isoëten, die zwei Siebtheile an den Blattbündeln führen, dieselben am Grunde des Blattes zu einem einzigen [1]).

Die Erschöpfung der Blattstelen, respective Blattbündel, vollzog sich bei allen untersuchten Lycopodiaceen gleich einfach. Sie verjüngten sich allmählich, um in Gefässtracheïden auszulaufen, vor welchen die Elemente der Scheide zusammenschlossen. — Die älteren Blätter des von mir untersuchten Lycopodium Selago hatten eine grosse Luftlücke innerhalb des Mesophylls der Blattunterseite aufzuweisen. Diese Luftlücke war dadurch entstanden, dass die Zellen der vorwiegend drittletzten Zellschicht collabirten und sich von den Nachbarn trennten. Diese Zellen hatten ihren Inhalt ganz eingebüsst und waren, tiefe Falten bildend, zusammengesunken.

Ueber Muscineen-Leitbündel habe ich keine neuen Untersuchungen angestellt, da mir die vorhandenen ausreichend für die hier anzustellenden Betrachtungen erschienen [2]). Ganz unbeachtet durften die Muscineen hier aber nicht bleiben, da auch bei denselben bereits sich im Aufbau der „Leitbündel" die nämlichen Principien geltend machen, welche die Gefässbündel der höher organisirten Pflanzen beherrschen. Es treten uns nämlich in den Leitbündeln der Muscineen sowohl schon wasserleitende, plasmaleere, todte, als auch der Leitung der Assimilate dienende, lebendige Elemente entgegen. Beide Arten von Elementen erscheinen auch hier bereits in der Längsrichtung des Leitbündels gestreckt. Die wasserleitenden Elemente sind in manchen Fällen, wie bei Mnium-Arten, mit quergestreckten Tüpfeln an den Seitenwänden versehen, und die schiefen Terminalwände, mit welchen sie aufeinander stossen, zeigen ebenfalls stark in die Quere gezogene Tüpfel [3]). Diese Elemente verdienen durchaus die Bezeichnung von Tracheïden. Lässt man das abgeschnittene Moosstämmchen so lange trocken liegen, bis dass die Blätter

1) l. c. p. 8. (Sep.-Abdr.)

2) Haberlandt, Zur Anatomie und Physiologie der Laubmoose, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVII, p. 359; E. Strasburger, Bot. Practicum, II. Aufl., p. 286.

3) Haberlandt, l. c. p. 378.

zu schrumpfen anfangen, so erscheinen die zuvor mit Wasser erfüllten Tracheïden, ganz ähnlich wie unter entsprechenden Umständen die Tracheïden der höheren Pflanzen, lufthaltig, und das ganze Leitbündel stellt sich als silberglänzender Faden dar. Ebenso ist, wie in den Tracheïden der höheren Pflanzen, eine Luftverdünnung in den wasserleitenden Elementen unverletzter welker Stämmchen festzustellen [1]). Auch erscheint das Leitbündel der Moose, wie die Gefässbündel höherer Pflanzen, luftdicht gegen das umgebende Gewebe abgeschlossen, und vielfach ist deutliche Schutzscheidenbildung um dasselbe nachzuweisen. Innerhalb der Blätter mancher Moos-Arten werden in den Leitbündeln durch Auflösung der Zellwände Intercellulargänge ausgebildet [2]), die allem Anschein nach ähnlichen wasserleitenden Gängen in den Gefässbündeln der Monocotylen entsprechen. Als Unvollkommenheit in der Ausbildung des Leitungssystems muss es gelten, dass die Blattspurstränge sich meistens nicht in das Gewebe der Stämmchen fortsetzen; in gewissen Fällen, so bei Mnium-Arten, endigen sie blind innerhalb der Stammrinde [3]), nur in einzelnen Fällen, so bei den Polytrichum-, Splachnum-Arten und bei Voitia nivalis, reichen sie bis an den Centralstrang, um mit diesem zu verschmelzen. Bei Laubmoosen, die sich durch besonders grosse Laubblätter auszeichnen, ist immer auch der Centralstrang stark entwickelt [4]), es sei denn, dass diese Laubmoose Wasserbewohner sind, wo dann die Rückbildung des Centralstranges sehr ausgesprochen, das vollständige Fehlen desselben sehr häufig ist. Bei den Polytrichaceen, bei welchen die Leitbündel der Moose die höchste Ausbildung erreichen, bestehen dieselben in den Stämmchen nicht allein aus einem centralen wasserleitenden Strange, sondern auch aus einem, denselben umgebenden, reichlich Eiweisskörper und Stärke leitenden, mehrschichtigen Mantel. Das Leitbündel ist hier somit von einem centralen dem Gefässtheil entsprechenden, und einem peripherischen dem Siebtheil analogen Gewebe gebildet [5]). In letzterem fallen einzelne Zellen durch ein weiteres Lumen und mehr oder weniger verbreiterte Enden auf, wodurch sie

1) Haberlandt, l. c. p. 416.
2) Ebendas. p. 384.
3) Bot. Practicum, II. Aufl., p. 290.
4) Haberlandt l. c. p. 387.
5) Ebendas. p. 392; Bot. Practicum, II. Aufl., p. 286.

an Siebröhrenglieder erinnern. Doch bildet Haberlandt in diesen Zellen (l. c. Taf. XIII, Fig. 12) Zellkerne ab, wodurch sie sich von echten Siebröhren wesentlich unterscheiden würden. Zur Zeit lebhafter Stoffwanderung führt dieser Siebtheil nur eiweissreichen, plasmatischen Inhalt in seinen Zellen; bei langsamer Stoffwanderung tritt aber auch Stärke in demselben auf. In dem stark entwickelten Centralstrange der oberirdischen Stammtheile der neuseeländischen Polytrichacee Dawsonia superba sind ausser wasserleitenden Elementen auch mechanische faserartige vertreten [1]), und ähnliche mechanische Elemente führen auch die unterirdischen, rhizomartigen Stammtheile der anderen Polytrichaceen. Die Blattbündel der Polytrichaceen weisen ebenfalls ausser langgestreckten, wasserleitenden Elementen drei bis vier Mal kürzere, die Assimilate führenden Zellen auf. Diese Blattspurstränge treten, von sklerenchymfaserähnlichen Elementen auf ihrer Aussenseite gestützt, in das Stämmchen, nähern sich, ihre mechanischen Belege allmählich einbüssend, dem Centralcylinder, dringen in den Siebtheil desselben ein, durchziehen ihn in radial-schiefer Richtung und schliessen mit ihren wasserleitenden Elementen endlich an diejenigen des Centralcylinders an [2]). Der centrale Gefässbündelstrang der Polytrichaceen kann nach alledem nicht mit einem einfachen, concentrisch gebauten Bündel, er muss vielmehr mit einem Gefässbündelcylinder oder einer Stele verglichen werden, so dass die mit Centralcylinder ausgestatteten Moose als monostelisch zu gelten haben. Der ringförmige Siebtheil dieser Stelen ist aber nicht scharf gegen die umgebende Rinde abgesetzt und soll nach Haberlandt auch entwicklungsgeschichtlich zu derselben gehören [3]). Ueber letzteren Punkt werden weitere Untersuchungen anzustellen sein, und aus diesen somit sich auch erst ergeben, wie weit wirklich der Vergleich des leitenden Stranges der Polytrichaceen mit dem Centralcylinder der höheren Pflanzen sich durchführen lässt.

1) Haberlandt l. c. p. 400.
2) Ebendas. p. 404.
3) l. c. p. 405.

Zusammenstellung einiger allgemeinen Resultate.

Es sollen an dieser Stelle nur einige allgemeine Gesichtspunkte hervorgehoben werden, welche sich aus dem anatomischen Theile dieser Arbeit ergeben, während im Uebrigen für die Einzelbeschreibungen und für manche an dieselben geknüpfte vergleichend-morphologische Betrachtung, auf diesen Theil selbst verwiesen sei.

So mannigfaltig auch im Einzelnen der Bau der primären und secundären Gefässbündeltheile bei den höher organisirten Pflanzen erschienen sein mag, so lässt sich diese Mannigfaltigkeit auf relativ einfache Gesichtspunkte zurückführen. Im Gefässtheil der Gefässbündel sind zwei Gewebearten vertreten, welche den Ausgangspunkt aller weiteren Modificationen bilden, eine tracheale und eine parenchymatische.

Das tracheale Gewebe, zunächst nur durch Tracheïden vertreten, hat sich weiterhin differenzirt in Tracheïden und in Tracheen. Die Tracheïden können gefässartig entwickelt sein und verdienen dann die Bezeichnung von Gefässtracheïden, oder auch mehr oder weniger faserförmig werden, wo sie dann als Fasertracheïden sich unterscheiden lassen [1]). Die Gefässe oder

1) de Bary hat bereits folgerecht zwischen gefässähnlichen und faserförmigen Tracheïden unterschieden (Vergl. Anat., p. 496), Haberlandt wendet ebenfalls in der „Physiologischen Pflanzenanatomie" die Bezeichnung „Fasertracheïden" an, doch lässt er dieselben, von physiologischen Annahmen ausgehend, aus Libriformfasern hervorgehen, die thatsächlich mit den Fasertracheïden nichts zu thun haben und aus dem parenchymatischen System abzuleiten sind. Die Libriformfasern, die von mir als Holzfasern bezeichnet werden, sollen nach Haberlandt wasserleitende Nebenfunctionen übernehmen, dann auch zunächst einen kleinen Hof

Tracheen selbst, an der Durchbrechung ihrer Terminalwände kenntlich, können in allen sonstigen Structuren den Tracheïden gleichen und Uebergänge darstellen, welche als tracheïdale Gefässe sich bezeichnen liessen. Gefässartig gestreckte Tracheïden könnten Tracheotracheïden, tracheïdal gestaltete Gefässe Tracheïdotracheen heissen. Die faserförmige Ausbildung der Tracheïden kann so weit gehen, dass dieselben in ihrer Gestalt durchaus den, der anderen Gewebeart angehörenden Holzfasern gleich werden. Der Hof an den Tüpfeln solcher Fasertracheïden kann so weit zurückgehen, dass eine directe Unterscheidung von den Holzfasern, auf Grund dieses Merkmals, kaum mehr möglich ist; nur vergleichend-morphologische Untersuchungen führen alsdann zu einer sicheren Deutung. Das Suchen nach dieser Deutung ist aber geboten, da in der That nur phylogenetische Gesichtspunkte, die Feststellung der Homologie, über den morphologischen Werth ganzer Organe wie einzelner Elemente des Pflanzenkörpers entscheiden können. — Während, ihrer Vertheilung im leitenden Gewebe nach, die ring- und schraubenförmig verdickten Gefässtracheïden für in Streckung begriffene Organe bestimmt sind und im Wesentlichen nur der Leitung auf kürzere Strecken dienen, werden die behöft getüpfelten typischen Tracheïden und Gefässe in bereits gestreckten Pflanzengliedern angelegt und vermitteln die Leitung auf Entfernung, oder dienen als Wasserbehälter. Die Fasertracheïden haben sich aber mehr oder weniger vollständig der Aufgabe der Wasserleitung wieder entfremdet und dienen, im extremen Falle, nur mechanischen Zwecken. Soweit meine Erfahrungen reichen, kommt aber eine gemeinsame Eigenschaft allen, auch den extremsten Gliedern des trachealen Systems zu, nämlich die, dass sie im fertigen Zustande todt und plasmaleer sind. Auch wüsste ich keinen Fall gefächerter Fasertracheïden bis jetzt anzuführen. Wie den Coniferen Gefässe ganz fehlen und im secundären Zuwachs der Gefässtheile nur echte Tracheïden vertreten sind, so gehen dem secundären Zuwachs vieler dicotylen Hölzer, so

---

an ihren Tüpfeln erhalten, aber um so grössere und typischer werdende Hoftüpfel, je mehr sie sich an der Wasserleitung betheiligen. Schliesslich sollen auf diese Weise Zellformen zu Stande kommen wie diejenigen des Coniferenholzes, die in gleichem Maasse als wasserleitende wie als mechanische Elemente fungiren. Physiologische Pflanzenanatomie, p. 357.

der von uns untersuchten Ficus-Arten, Leguminosen, ja selbst Salix-Arten, die Tracheïden ganz ab und sind nur Gefässe in diesem Zuwachs vorhanden. In der Differenzirung des bei der Wasserleitung bethätigten trachealen Gewebes der Dicotylen-Hölzer herrscht im Einzelnen grosse Mannigfaltigkeit, welche zeigt, auf wie verschiedenem Wege die den Wasserbahnen zufallende Aufgabe gelöst werden konnte. Während Drimys, wie die Coniferen, ganz auf Tracheïden angewiesen ist, andere Bäume sich nur mit Gefässen behelfen, greifen bei vielen Gefässe und Tracheïden zugleich in die Arbeit ein. Wo Gefässe und Tracheïden sich in die Arbeit theilen, weisen manche Einrichtungen darauf hin, dass die weitesten Gefässe, mehr als Wasserbehälter fungiren, den Tracheïden vornehmlich die Aufgabe der Wasserhebung zufällt. Eine ähnliche Arbeitstheilung liegt vor wo ausser weiten auch enge Gefässe vertreten sind, die vielfach, wie bei Wistaria und bei vielen Lianen, die grossen Gefässe umgeben. In denjenigen Fällen, wo relativ weitere Gefässe allein, wie bei Albizzien, den Ficus-Arten, das Geschäft der Wasserleitung vollziehen, sind die Anschlüsse der Gefässenden stets complicirt. Es legen sich die Gefässe dann nicht einfach mit ihren Enden quer oder schräg an einander, vielmehr verjüngen sie sich in enge, kurze Glieder, welche durch zahlreiche Hoftüpfel, zum Theil auch durch enge Löcher unter einander und mit entsprechenden Gliedern des anderen Gefässes communiciren. So werden in den Verlauf der Gefässe in Abständen Glieder eingeschaltet, die sich als besonders wirksam bei der Wasserleitung erweisen müssen. — Auch in der Ausgestaltung der Wand der trachealen Bahnen macht sich eine gewisse Verschiedenheit geltend, der eine bestimmte Bedeutung in jedem einzelnen Falle zukommen muss. Eine häufige Erscheinung ist die Ausbildung von dünnen, tertiären Schraubenbändern. Diesen Schraubenbändern kann eine mechanische Bedeutung nicht zukommen, sie müssen zu dem Vorgang der Wasserleitung in Beziehung stehen. Solche Schraubenbänder sind sehr häufig in getüpfelten Gefässen, und nicht selten fehlt das Band an den getüpfelten Flächen und wird nur an den sonst glatten Stellen der Wand ausgebildet, mit welchen das Gefäss an Holzfasern grenzt. Den Tracheïden von Taxus kommen ebenfalls derartige Schraubenbänder zu und können augenscheinlich auch dort keine mechanische Bedeutung beanspruchen. Relativ selten

werden statt tertiärer Schraubenbänder in den nämlichen Elementen der Wasserbahn gleich zarte tertiäre Ringe angelegt. Namentlich ist dieses bei Rosifloren zu beobachten, wo vielfach in demselben Element auch Schraubenbänder und Ringe mit einander abwechseln können. Auch bei Taxus können tertiäre Ringe die Schraubenbänder vertreten. Wiederholt fehlten die Schraubenbänder in den weiten Gefässen der von uns untersuchten dicotylen Hölzer, während sie den engen Gefässen und den Tracheïden zukamen, so bei Robinia, Wistaria, Vitis, Hedera. Sie konnten aber auch sowohl den weiten Gefässen als auch den Tracheïden abgehen, so bei Aristolochia, bei Fagus, Quercus, Polygala und selbst bei der Liane Securidaca, oder auch in allen diesen Elementen vertreten sein, so bei Tilia. Endlich war es möglich, dass auch in solchen Fällen, in welchen nur weite Gefässe im secundären Zuwachs als Leitungsbahnen für Wasser zur Verfügung stehen, die Schraubenbänder diesen ganz abgehen, so bei Salix und Albizzia. Auffallend ist die Mannigfaltigkeit, die selbst innerhalb einer und derselben, nach demselben Typus gebauten Familie, die Wasserbahnen in Betreff des Vorhandenseins oder des Fehlens, beziehungsweise der Art der Ausbildung der tertiären Verdickung aufweisen: so bei den Rosifloren. Im Frühholz von Prunus avium kommt die Ausbildung der tertiären Schraubenbänder oder Ringe nur den Gefässen und den an dieselben stossenden Fasertracheïden zu; die übrigen Fasertracheïden des Frühholzes sind ohne diese Verdickung. In den Fasertracheïden des Folgeholzes nimmt die Ausbildung dieser tertiären Verdickung zu und steigert sich in den tüpfelreicheren, besonders engen Fasertracheïden des Spätholzes wieder ganz bedeutend. Bei Sorbus Aucuparia fand ich tertiäre Schraubenbänder nur in Gefässen, nicht in den Tracheïden. Bei Pirus communis endlich waren auch in den Gefässen die Schraubenbänder nur an ganz vereinzelten Stellen ausgebildet. — Die Ringe und Schraubenbänder, welche die Gefässtracheïden und Gefässe der primären Gefässtheile aufzuweisen haben, stellen nicht eine tertiäre, sondern eine secundäre Verdickung vor, und fällt ihnen vor allem die mechanische Aufgabe zu, die Bahnen vor dem Zusammendrücken zu schützen. Gleichzeitig können sie aber auch noch diejenigen Vortheile für die Wasserbahn haben, wie sie im secundären Zuwachs durch Ausbildung der tertiären Verdickung erreicht

wird. Aus der weit grösseren Verbreitung liesse sich schliessen, dass es namentlich die schraubenförmige Art der Verdickung ist, welche der Wasserbahn bei ihrer Aufgabe Vortheile gewährt. — Wo tertiäre Schraubenbänder in den secundären Wasserbahnen fehlen, da wird auch wohl der Wand eine mehr oder weniger ausgeprägte schraubige Structur durch Streckung und entsprechende Anordnung der Tüpfel verliehen. Das fällt in den engen trachealen Elementen von Aristolochia beispielsweise sehr in die Augen. Sehr häufig bei Coniferen beobachtet man andererseits eine mehr oder weniger schraubenförmige Differenzirung der ganzen Verdickungsschichten, welche als Streifung der Zellwand bekannt ist. Von grösster Bedeutung für die Erfüllung der Aufgaben, welche den Wasserbahnen zufällt, ist auch, wie wir unten sehen werden, die Art der Ausbildung der Scheidewände in denselben. Diese Scheidewände sind entweder nur mit Hoftüpfeln versehen oder mit Hoftüpfeln und Oeffnungen, oder nur, wie ganz vorwiegend, mit Oeffnungen allein. Dabei sind diese Scheidewände entweder quer oder schräg gestellt und dann im ersten Falle mit nur einer, im letzten meist mit einer grösseren Anzahl von Oeffnungen versehen. Diese Oeffnungen selbst zeigen sich häufig, ungeachtet die Schliesshaut aufgelöst wurde, hoftüpfelartig ausgebildet, das heisst, sie zeigen eine im Innern der Scheidewand gelegene Erweiterung. Alle diese Momente, so untergeordnet sie auf den ersten Blick auch erscheinen mögen, sind von Bedeutung und bin ich überhaupt geneigt, anzunehmen, dass kaum irgend welche der in den Wasserbahnen zu beobachtenden Structureigenthümlichkeiten völlig belanglos sei.

Im Holze der Coniferen wird die Wasserleitung von denselben Elementen vollzogen, welche auch für die mechanische Festigkeit zu sorgen haben, nämlich von den allein den Holzkörper aufbauenden Tracheïden. Wo Fasertracheïden ausgebildet sind, fällt ihnen vornehmlich, wenn nicht ausschliesslich, nur noch eine mechanische Aufgabe zu; sie können in dieser Aufgabe durch Holzfasern unterstützt werden, oder auch, wie bei Quercus, Fagus, den Rosifloren, die mechanischen Elemente des Holzkörpers allein vorstellen.

Die Function, welche den trachealen Enden der Gefässbündel in den Blättern der Angiospermen zufällt, wird bei den Gymnospermen durch Grundgewebselemente vollzogen, die als

Säume aus trachealem Parenchym den Gefässtheil der Blattbündel begleiten, respective das Blattgewebe auch in entfernteren Theilen noch durchsetzen.

Das vasalparenchymatische Gewebe der secundären Gefässtheile besteht aus Vasal- respective Holzparenchym, Ersatzfasern, gefächerten Holzfasern, lebendigen und todten Holzfasern. In dem primären Gefässtheile haben wir es fast nur mit mehr oder weniger dünnwandigem Vasalparenchym zu thun, eine weitergehende Differenzirung erfährt das holzparenchymatische Gewebesystem nur in dem secundären Zuwachs. Wie die Wasserleitung als die eigentliche Aufgabe der trachealen, so muss die Leitung und Speicherung der Assimilate und Nebenproducte, auch die Vermittlung der für diese Functionen nothwendigen Durchlüftung, als die eigentliche Function des holzparenchymatischen Systems gelten. Die sonstigen Leistungen dieses Systems sind abgeleitete. Diese abgeleiteten Functionen können aber auch hier an Stelle der ursprünglichen treten, und plasmafreie, todte Holzfasern schliesslich nur noch mechanischen Zwecken dienen [1]). Dem gesammten, zum Gefässbündel gehörenden parenchymatischen Gewebe kommen einfache Tüpfel zu, die in den specifisch mechanisch ausgebildeten Elementen dieses Gewebes spaltenförmig, linksschief aufsteigend werden. Zur Unterscheidung gegen extreme Fälle der faserförmigen Ausbildung im trachealen Gewebe können aber, wie schon erwähnt, diese Tüpfel nicht dienen, da die Tüpfel auch dort spaltenförmig werden, und eine Sicherstellung des Hofes, sowie eines Torus an der Schliesshaut bei sehr geringem Durchmesser nicht mehr möglich wird. Dabei ist eine Erweiterung am Grunde auch bei den ihrem Ursprung nach einfachen Tüpfeln nicht ausgeschlossen. — Beide Gewebsarten, die tracheale wie die holzparenchymatische, bleiben der Regel nach im Holzkörper ganz auffällig von einander getrennt und bildet jede für sich

1) Haberlandt hat bei Cytisus Laburnum Mittelformen zwischen Ersatzfasern und mechanischen Holzfasern beobachtet. An der Grenze „der breiten Libriformplatten und des Holzparenchyms“ giebt es dann nicht selten langgestreckte Elemente, welche zur Hälfte eine typische, relativ dünnwandige Ersatzfaser, zur anderen Hälfte eine ebenso typische dickwandige und parenchymatisch zugespitzte Libriformfaser vorstellen. Physiol. Pflanzenanatomie, p. 358.

ein continuirliches Ganze. Von den Elementen des holzparenchymatischen Gewebes treten nur die lebendigen in auffällige Beziehung zu den wasserleitenden Bahnen, denen sie Wasser entnehmen, an die sie Zellsaft unter Umständen abgeben. Die Verbindung mit den Wasserbahnen ist im Allgemeinen um so vollkommener, je mehr die lebendigen Elemente des holzparenchymatischen Gewebes ihren parenchymatischen Charakter sich bewahrt haben, während die Verbindung zwischen den Wasserbahnen und den den mechanischen Functionen ausschliesslich angepassten Elementen des holzparenchymatischen Gewebes auf vereinzelte, punktförmige Poren beschränkt erscheint. Im Allgemeinen fällt in den dicotylen Hölzern die Aufgabe der Festigung, den faserförmig ausgebildeten Elementen des holzparenchymatischen Gewebes, den Holzfasern, zu, sie bilden dann die Hauptmasse des Holzes. Die Fälle, in welchen diese Aufgabe von Fasertracheïden übernommen wurde, treten hinter den anderen zurück. Als Extreme können solche Hölzer wie Ficus-Arten und Albizzien gelten, bei welchen das tracheale Gewebe im Holzkörper nur durch ein lockeres Netz weiter Gefässe vertreten ist, alle übrigen Elemente dem holzparenchymatischen Gewebe zugehören.

Der primäre Siebtheil und der als Bast bezeichnete secundäre Zuwachs desselben sind ganz ebenso wie der primäre Gefässtheil und das secundäre Holz auf die Differenzirung von zwei Gewebsystemen, des cribralen und des parenchymatischen, zurückzuführen. Das eine besteht bei den Gefässkryptogamen und den Gymnospermen aus Siebröhren allein; aus Siebröhren und ihren Schwesterzellen, den Geleitzellen, bei den Angiospermen; das andere aus Bastparenchym und Bastfasern, die durch Uebergänge, so durch Vermittlung von Steinzellen, mit einander verbunden sind. Ganz ähnlich wie die Holzfasern im Holz, so treten uns auch die Bastfasern im Bast in unverdickten (Ersatzfasern), in inhaltsreichen und inhaltsarmen, in lebendigen und todten Formen entgegen. Die Siebröhren, welche fortlaufende Zellenzüge darstellen, leiten, den anatomischen Befunden nach, die Stoffe, die sie führen, auf weitere Strecken hin, während ihre, bei Angiospermen vorhandenen, Geleitzellen, da sie im secundären Zuwachs nur kurze Zellfäden bilden, einer Leitung auf Entfernung unmöglich dienen können, vielmehr, allem Anschein nach, den Inhalt der Sieb-

röhren in sich aufnehmen, um ihn in geeigneter Form an die Umgebung zu übermitteln. Dass sich das so verhält, folgt einerseits aus der innigen Verbindung der Geleitzellen mit den Siebröhren, welche Verbindung, bei irgendwie stärkerer Wandverdickung, noch durch Tüpfel sich erleichtert zeigt, andererseits aus der innigen Verbindung der Geleitzellen mit den Markstrahlen, welche ebenfalls durch zahlreiche Tüpfel unterstützt wird, während jede Tüpfelung zwischen Siebröhren und Markstrahlen fehlt. Wo die Zahl der Markstrahlen eine sehr geringe ist, wie beispielsweise bei Vitis oder Aristolochia, da ist andererseits dafür gesorgt, dass das Bastparenchym überall in Contact mit den Geleitzellen komme und so den Inhalt derselben zur Weiterbeförderung übernehme. Bei den Gymnospermen und Gefässkryptogamen bei welchen die Geleitzellen fehlen, fällt bestimmten Zellenzügen des Bastparenchyms oder der Bastmarkstrahlen deren Aufgabe zu. Dafür zeugt im secundären Zuwachs der Gymnospermen der Befund, dass die betreffenden Zellenzüge zugleich mit den Siebröhren ausser Function gesetzt, entleert und meist zerdrückt werden. Bei Gymnospermen wie Gefässkryptogamen zeichnen sich diese die Geleitzellen der Angiospermen vertretenden Zellenzüge durch ihren Plasmareichthum aus. Im secundären Zuwachs der Gymnospermen kann man wiederum feststellen, dass auch diese, die Geleitzellen vertretenden Elemente nur auf kurze Strecken fortlaufen und für Leitung auf Entfernung nicht eingerichtet sind. Sie nehmen vielmehr den Inhalt der Siebröhren auf, mit welchen sie bei Gymnospermen durch halbe Siebtüpfel zusammenhängen, und übermitteln ihn an das stärkeleitende Parenchym, respective gleich an die Markstrahlen. — In den primären Siebtheilen einiger Dicotylen, sowie der des Dickenwachsthums nicht fähigen Monocotylen, liegen hingegen die Verhältnisse anders. Da lassen sich die Geleitzellen in continuirlichen Zellenzügen verfolgen. Das hängt mit dem Mangel von Bastparenchym zusammen, welches die Leitung übernehmen könnte. — Anderweitige Beanspruchung der vorhandenen wenigen Bahnen mag auch das Aufeinandertreffen der Geleitzellen, respective der dieselben vertretenden Bastparenchymzellen innerhalb der Blattbündel bedingen. — In den Gefässbündelenden läuft bei den Angiospermen der Siebtheil in enge Siebröhren und erweiterte Geleitzellen, beziehungsweise in ungetheilt gebliebene, angeschwollene,

als Uebergangszellen bezeichnete Zellen aus, welche den gemeinsamen Mutterzellen von Siebröhren und Geleitzellen entsprechen. Bei den Gymnospermen folgen andererseits dem Rande des Siebtheils eiweissreiche angeschwollene Elemente, welche die angeschwollenen Geleitzellen und Uebergangszellen der Angiospermen vertreten. Ganz wie der tracheale Saum am Gefässtheilrande, gehören auch diese eiweissreichen Begleitzellen dem Grundgewebe an. Die anatomischen Befunde legen die Annahme nahe, dass sowohl die angeschwollenen Geleitzellen und Uebergangszellen der Angiospermen, als auch die eiweissreichen Saumzellen der Gymnospermen, im Blatte erzeugte Eiweisskörper in sich aufsammeln und sie an die Siebröhren übermitteln. Sie würden demgemäss umgekehrt als die Geleitzellen und die plasmareichen Bastparenchymzellen der Verbrauchsorte functioniren und somit ein ähnlicher Gegensatz an den beiden Enden der Eiweissbahn sich geltend machen, wie er auch an den beiden Enden der Wasserbahn besteht. Der in den Siebröhren beförderte Stoff ist kein lebendiges Plasma, vielmehr meist eine wässrige Lösung eiweissartiger Stoffe. Dieselbe füllt das Lumen der Siebröhrenglieder aus. Der lebendige Bestandtheil der Siebröhrenglieder besteht in einem dünnen Wandbeleg aus Protoplasma und aus Leucoplasten, die in den meisten Fällen eine sich mit Jod weinroth färbende Stärkeart produciren. Der protoplasmatische Wandbeleg der Siebröhren dürfte die zu leitenden Stoffe des Lumens festhalten und deren Diffusion in die Umgebung verhindern. Die producirte Stärke steht anscheinend zu der Bildung der Calli in Beziehung, denn man sieht sie abnehmen in dem Maasse, als die Calli wachsen. Wo die Stärke fehlt, mag sie durch einen andern Stoff vertreten sein. Die Zellkerne schwinden in den Siebröhrengliedern während deren Ausbildung. Ihre Substanz kommt dem gelösten Inhalt zu Gute, welchen die Siebröhren führen; die bei Gymnospermen beobachtete Vermehrung der Zellkerne vor ihrer Auflösung wird entsprechend auch den Siebröhreninhalt an specifischen Kernstoffen bereichern. Die Siebplatten sind bei Coniferen sicher geschlossen; doch nur durch stark gequollene Theile der primären Wandung. Diese gequollenen Membranstellen erscheinen dort in der fertigen Siebröhre als Knötchen, auf welche beiderseits die Poren der Siebplatte treffen. Die geringe Dichte dieser Knötchen ist weiterhin daran zu er-

kennen, dass sie in der sich entleerenden Siebröhre zugleich mit dem Callus gelöst werden. Bei den Angiospermen communiciren die Siebröhrenglieder in den meisten Fällen wohl durch offene Poren, die aber ausserordentlich eng werden können, so dass deren Offensein schliesslich nicht mehr erweisbar ist. Dass durch Druckdifferenzen die Inhaltsstoffe der Siebröhren von Ort zu Ort bewegt werden können, lehrt der Umstand, dass jeder Schnitt durch die mit offenen Siebporen versehenen Pflanzen ein Hervortreten des Siebröhreninhalts aus den geöffneten Siebröhrenenden und eine sichtbare Verschiebung dieses Inhalts auf weitere Strecken hin veranlasst. In der unversehrten Pflanze dürfte eine locale Entleerung eine Bewegung nach der betreffenden Stelle auch veranlassen. Dass diese bei den Coniferen durch die gequollenen Membrantheile erfolgen muss, geht sicher aus dem anatomischen Befunde hervor; da es sich aber um eine wässrige Lösung, nicht um Schleim oder Protoplasma bei dieser Bewegung handelt, so dürften derselben die gequollenen Membranstellen nicht mehr Widerstand als die Schliesshäute der Hoftüpfel der im Holzkörper sich bewegenden wässerigen Lösungen entgegensetzen. Die Abwärtsbewegung der Inhaltsmassen der Siebröhren von den Productionsstellen aus nach den Orten des späteren Verbrauchs dürfte auch verständlicher werden nach der Constatirung der Thatsache, dass die Siebröhren selbst nicht als Reservestoffbehälter functioniren, vielmehr nur die Leitung besorgen. In der That findet man die Siebröhren im Winter weit inhaltsärmer. Und dass auch den Geleitzellen die Aufgabe von Reservestoffbehältern nicht zufällt, geht aus ihrem ganz entsprechenden Verhalten hervor. Man findet sie unter Umständen im Winter ganz zusammengefallen, während sie nach Beginn der Vegetationszeit, im nächsten Frühjahr, alsbald wieder prall angefüllt sich zeigen. Von dem Augenblicke an wo die Siebröhre nicht mehr gefüllt werden soll, erhält sie Verschlüsse durch Calli. In manchen Fällen werden solche Calli für den Winter angebracht, um zu verhüten, dass sich die Siebröhren von der Umgebung aus, oder auch in unerwünschter Richtung, füllen. Diese provisorischen Calli werden gelöst, wenn die Assimilation von neuem begonnen hat und die regelrechte Füllung der Siebröhren wieder erfolgen kann. Die meisten Pflanzen bilden aber nur einen einzigen, den definitiven Callus,

dessen Auftreten nicht an eine bestimmte Jahreszeit, sondern an ein bestimmtes Alter der Siebröhre gebunden ist. Dass der Callus selbst nicht etwa als Reservestoff aufgefasst werden kann, geht aus dem Umstande hervor, dass die Calli der Blätter im Herbst nicht aufgelöst, vielmehr mit den Blättern abgeworfen werden. Innerhalb des Bastes in den Stammtheilen muss der Callus aber wohl eine spätere Verwendung finden können, da er in älteren, ausser Action gesetzten Siebröhren wieder gelöst wird, sobald keine Gefahr für die Pflanze mehr darin besteht, die Siebplatten dieser Siebröhren zu öffnen. — Die Thätigkeit der Siebröhren ist stets eine zeitlich sehr eingeschränkte und geht nicht über wenige Jahre hinaus. Mit den Siebröhren werden die Geleitzellen stets ausser Function gesetzt, und wo die Aufgabe der Geleitzellen bastparenchymatischen oder Markstrahl-Elementen zugefallen ist, sieht man auch diese zugleich mit den Siebröhren collabiren.

Das bastparenchymatische Gewebe des secundären Zuwachses der Angiospermen hat an der Fortleitung der Eiweisskörper keinesfalls einen directen Antheil, doch dient es vielfach der Aufnahme der durch die Siebröhren zugeleiteten und durch die Geleitzellen ihm übermittelten Stoffe. Diese Aufgabe theilt es alsdann mit den Markstrahlen. Bei den Gymnospermen und den Gefässkryptogamen fällt auch die Aufgabe der Geleitzellen dem Bastparenchym, bei den Gymnospermen zum Theil auch den Markstrahlen zu. Bei allen Gefässpflanzen besorgt das Bastparenchym vor Allem die Leitung der Kohlehydrate. Denn dass die Leitung der Kohlehydrate nicht von den Siebröhren vollzogen wird, lehrt überzeugend der Inhalt der letzteren. Die Mengen von Kohlehydraten in den Siebröhren sind verschwindend gegenüber den im Bastparenchym vertretenen, und die Angaben über directe Beförderung der kleinen Stärkekörner durch die Siebporen treffen nicht zu. Andererseits führen auch die Geleitzellen in keinem Falle Stärke, und geht dieselbe sogar auch den die Geleitzellen vertretenden Bastparenchymzellen bei Gymnospermen und Gefässkryptogamen ab. Der ihnen im Leitungsgeschäft zugetheilten Aufgabe gemäss, zeigen sich die Bastparenchymzellen am stärksten an ihren Terminalflächen getüpfelt, hängen durch Tüpfel mit einander und mit den Markstrahlen und nachweisbar vielfach auch mit den Geleitzellen zusammen. Ausser dem Geschäfte der Speicherung der Eiweisskörper, der

Leitung und Speicherung von Kohlehydraten, fällt dem Bastparenchym auch noch die Aufgabe der Aufnahme, Fortleitung und Aufspeicherung der Nebenproducte zu. Letztere Function wird vor allem, und zwar in ergiebigerem Maasse als im Holzkörper, den verschiedenen Arten von Idioblasten und Secretschläuchen zugetheilt, ausserdem den Bastfasern, die nachweisbar vielfach zur Ablagerung von Calciumoxalat, auch von Kieselsäure, in Beziehung stehen und ebenso der Deponirung von Membranstoffmassen dienen. Der hiermit verbundenen Verdickung halber erlangen diese Bastfasern öfters mechanische Bedeutung. Die dem stärkehaltigen Parenchym des Bastes zugefallenen Functionen halten weit länger als diejenigen der Siebröhren und Geleitzellen, respective auch der Vertreterinnen der Geleitzellen, an; sie können sich über ein Decennium hinaus erstrecken und wird denselben erst durch Peridermeinschaltung ein Ende gemacht.

Das Markstrahlgewebe, das trotz seiner secundären Einschaltung vom Cambium aus, dem Grundgewebe zuzuzählen ist, zeigt nahe Verwandtschaft zu den parenchymatischen Systemen des Holz- und Basttheils und dient auch dazu, die parenchymatische Verbindung in jedem der beiden Systeme, sowie die Vereinigung der beiden Systeme zu einem einheitlichen Ganzen herzustellen. In seinen Functionen stimmt das Markstrahlgewebe, wie eben schon mehrfach hervorgehoben wurde, mit den Functionen der parenchymatischen Systeme des Basttheils und so auch des Holztheils überein. Leitung, Ablagerung und Abgabe der Kohlehydrate und der eiweissartigen Körper, Aufnahme und vielfach auch Ablagerung von Nebenproducten, sowie die Vermittlung des Gasaustausches, fällt ihm bei Gymnospermen und Dicotylen zu. Bei den Abietineen übernehmen auch einzelne Zellenzüge, meist des Markstrahlrandes, eventuell ganze, vorwiegend nur einstöckige Markstrahlen die Function der Geleitzellen. In den dicotylen Holzgewächsen macht sich andererseits eine Arbeitstheilung in den Markstrahlen meist in der Weise geltend, dass nur bestimmte Zellenzüge derselben in Beziehung zu den Gefässen treten und bestimmte nur von lufterfüllten Intercellularen begleitet werden. Gewöhnlich sind es die Randzellen an mehrschichtigen Markstrahlen, die Randzellen auch an einschichtigen Markstrahlen, eventuell ganze einschichtige Markstrahlen, welche die nähere Beziehung

zu den Gefässen dadurch verrathen, dass sie durch zahlreiche, einseitig behöfte Tüpfel mit denselben verbunden sind, während solche Tüpfel den Zellen der übrigen Zellenzüge des Markstrahls abgehen. Eine ähnliche Differenz in der Tüpfelung fällt vielfach auch im holzparenchymatischen System des Holzkörpers auf, so dass ein Theil der den Gefässen angeschmiegten Holzparenchymzellen mit einseitig behöften, grossen Tüpfeln versehen, ein anderer tüpfelfrei ist. In den meisten Fällen ist zu constatiren, sowohl für die Markstrahlen wie für das Holzparenchym, dass die durch Tüpfel mit den Gefässen verbundenen Zellen stärkeärmer als die anderen, wenn nicht gar stärkefrei sind. Innerhalb der Markstrahlen pflegen auch diejenigen Zellenzüge welchen die mit den Gefässen verbundenen Zellen angehören, durch grössere Höhe und geringere radiale Länge ausgezeichnet zu sein, so dass sie als „stehende Zellen“ von den „liegenden“ sich unterscheiden lassen. Die liegenden Zellen des Markstrahls sind augenscheinlich vornehmlich für Leitung, die stehenden zur Aufnahme der Stoffe aus den liegenden und zur Unterhaltung der Beziehungen zu den Gefässen eingerichtet. Diejenigen Zellenzüge, welchen die mit den Gefässen verbundenen Zellen angehören, werden von Intercellularen im Allgemeinen nicht begleitet. Die der Leitung dienenden längeren Zellen haben hingegen für gewöhnlich auch lufterfüllte Intercellularen zu ihren beiden Seiten aufzuweisen. In mehrschichtigen Markstrahlen herrscht stets die Tendenz, die Intercellularen vornehmlich in das Innere zu verlegen, was den Vortheil hat, die lufterfüllten Intercellularen von den Wänden der wasserleitenden Bahnen zu entfernen. Die Beziehung der leitenden Markstrahlzellen zu den Intercellularen kommt am schärfsten darin zum Ausdruck, dass aus denselben, bei irgendwie stärkerer Wandverdickung, Tüpfelkanäle nach den Intercellularen führen, von welchen sie nur durch dünne Schliesshäute getrennt bleiben. — Innerhalb des Basttheils ist eine so weit gehende Arbeitstheilung in diesen Markstrahlen nicht vorhanden, es hängen alle Zellenzüge, soweit sie mit angrenzenden Geleitzellen, Bastparenchymzellen und Bastfasern in Berührung kommen, mit diesen durch Tüpfel zusammen. Diese Tüpfel werden freilich nur sichtbar bei stärkerer Wandverdickung. Eine Differenz im Verhalten zwischen den einschichtigen intercellularfreien und den mehrschichtigen, von luft-

haltigen Intercellularen begleiteten macht sich aber darin geltend, dass erstere vielfach im älteren Baste entleert und zerdrückt werden, während letztere lebendig bleiben und bis zum Periderm reichen, um durch Vermittlung der Lenticellen in Beziehung zu der umgebenden Luft zu treten. Die Intercellularen der Markstrahlen lassen sich aus dem Bast durch das Cambium in den Holzkörper verfolgen; in dem Schwimmholz der Aeschynomene werden in den mit den Lenticellen communicirenden Markstrahlen die Intercellularen so weit, dass die Zellenzüge völlig aus dem Zusammenhang treten. — Eine anderweitige Arbeitstheilung macht sich in zahlreichen Markstrahlen dadurch kenntlich, dass bestimmte Zellen, vornehmlich innerhalb des Bastes, Calciumoxalatkrystalle aufnehmen. Bei Aristolochia werden, von den Intercellularen abgesehen, noch besondere Zellenzüge mit Luft angefüllt. Nur ausnahmsweise treten auch sklerenchymfaserähnlich ausgebildete Zellenzüge, welche den Holz- und Bastfasern ähneln, in den Markstrahlen auf. Bei einem Theile der Abietineen wird in eigenartiger Weise ein Theil der Zellenzüge in dem Markstrahl tracheïdal ausgebildet, um den Wasseraustausch zwischen den Holztracheïden in radialer Richtung zu vermitteln und vornehmlich die Verbindung der Wasserbahnen zwischen den aufeinander folgenden Jahresringen herzustellen.

Von der bekannten Abweichung in der Anordnung der primären Gefässbündeltheile abgesehen, unterscheiden sich die Wurzeln im Bau ihrer Elemente nicht wesentlich von den Stammtheilen. Besonders wurde constatirt, dass auch in den, des Dickenwachsthums entbehrenden, sehr bedeutende Länge erreichenden Luftwurzeln der Aroïdeen die Länge und der Bau der Gefässe nicht von den in den Stämmen gegebenen Verhältnissen abweicht. Ebenso wurde festgestellt, dass die primären Siebtheile der Wurzeln nicht anders als diejenigen der Stämme gebaut sind, die Siebröhren dort bei den Angiospermen von Geleitzellen, bei den Gymnospermen und Gefässkryptogamen von eiweissreichen Cribralparenchymzellen begleitet werden.

Bei allen untersuchten Kernhölzern stellten wir fest, dass das Kernholz frei von lebendigen Elementen ist, und dass innerhalb der Region, in welcher die Verkernung vor sich geht, die Zahl der lebendigen Elemente sinkt. Von den lebendigen

Elementen der Markstrahlen, wie des holzparenchymatischen Systems, werden aber die Producte geliefert, welche die Verkernung verursachen. Der Verkernung geht in manchen Fällen die Füllung der Gefässe mit Thyllen oder mit Schutzgummi in solcher Weise voraus, und werden die weiteren Wasserbahnen ausser Action gesetzt, während die engeren unter Umständen noch eine Zeitlang functioniren. Auch nachdem die Inanspruchnahme der letzteren aufgehört hat, können die lebendigen Elemente des betreffenden Stammabschnittes noch als Reservestoffbehälter benutzt werden, bis dass auch dieses aufhört und zugleich dann die Verkernung eintritt. — In den Splinthölzern nimmt die Zahl der lebendigen Elemente nach der Stammmitte zu nur sehr allmählich ab, und können die lebendigen Elemente selbst in sehr alten Stammtheilen noch bis zum Marke reichen.

Die Ablagerung des Calciumoxalats im Bastkörper, und unter Umständen auch im Holzkörper, pflegt schon in nächster Nähe des Cambiums zu erfolgen und meist nicht sehr lange anzuhalten. Die Verdickung der Bastfasern und Idioblasten im Bastkörper folgt für gewöhnlich erst auf die Calciumoxalatablagerung.

Die Thätigkeit des Cambiums im Frühjahr hebt mit ausschliesslicher oder doch bei weitem dominirender Holzbildung an, die weiterhin nachlässt, während die Bastbildung immer mehr zur maassgebenden Herrschaft gelangt. Schliesslich steht die Holzbildung ganz still, bei unseren Bäumen schon gegen Mitte August, während die Bastbildung in den meisten Fällen bis zum Schluss der Vegetationsperiode andauert. Dieses bedingt, dass die Holzgrenze zur Zeit der Vegetationsruhe stets scharf gezogen ist, während unfertige Elemente fast immer den Uebergang nach der Bastseite vermitteln. Die Fertigstellung der Markstrahlzellen eilt aber derjenigen der anderen Elemente voraus, daher zur Winterzeit auch an der Bastseite meist nur fertige Markstrahlzellen zu sehen sind [1]). — Für die Holzbil-

---

1) Das veranlasste die Behauptung Haberlandt's, dass im Winter die Holzmarkstrahlen direct an die Rindenmarkstrahlen stossen und im Frühjahr zwischen denselben erst wieder neue Markstrahlinitialen gebildet werden (Physiol. Pflanzenanatomie, p. 363), eine Annahme, der Wieler entgegentrat, Ber. d. Deutsch.

dung der Dicotylen ist weiter zu constatiren, dass bei derselben alljährlich zunächst die Anlage von wasserleitenden, später von mechanischen Elementen gefördert wird, und dass am Schluss die Bildung von Wasserbahnen vielfach wieder zunimmt. Diese zuletzt erzeugten Wasserbahnen zeichnen sich durch geringe Weite aus und dienen als radiale Ansatzstellen für die Wasserbahnen des nächsten Jahres. Bei den Nadelhölzern werden ebenfalls zu Beginn der Vegetationszeit besonders der Wasserleitung, später vornehmlich den mechanischen Functionen dienende Tracheïden gebildet, die Leistungsfähigkeit der letzt erzeugten Tracheïden als Wasserbahnen wiederum meist durch Ausbildung tangentialer Tüpfel erhöht, welche die radiale Verbindung mit den Wasserbahnen des nächsten Jahres erleichtern.

Das Grundgewebe des Centralcylinders ist den parenchymatischen Systemen des Gefäss- und Siebtheils nahe verwandt, daher es oft nicht möglich erscheint, eine Grenze zwischen dem Grundgewebe und den primären Gefäss- und Siebtheilen zu ziehen. Alle Umgestaltungen, welcher die Elemente des parenchymatischen Systems im Gefäss- und Siebtheil fähig sind, lassen sich auch im Grundgewebe des Centralcylinders nachweisen, und die extremsten Glieder der Reihen, wie Sklerenchymfasern, gegliederte und ungegliederte Milchröhren, Secretbehälter mannigfaltiger Art, kommen beiden Systemen in gleicher Weise zu. Den Steinzellen und Sklerenchymfasern des Grundgewebes fallen auch dieselben Functionen wie den Steinzellen und Bastfasern der Gefässbündel zu. Sie sind vielfach begleitet von Calciumoxalat, in manchen Fällen von Kieselkörpern, und lagern grosse Massen von Zellhautstoff ab, die sie zu mechanischen Functionen befähigen. Auch hier ist zu constatiren, dass die Function der Ablagerung von Calciumoxalat oder von Kieselsäure der Ablagerung von Verdickungsschichten vorauszugehen pflegt. — Die von Van Tieghem vollzogene allgemeine Unterscheidung der peripherischen Zone des Centralcylinders als Pericykel hat sich als eine fruchtbringende erwiesen, indem dieser Pericykel [1]) sich

bot. Gesellsch., 1886, p. 73. Vergl. auch Haberlandt, ebendas. p. 144, und Wieler, ebendas. p. 259.

1) Zuerst angewandt in „Sur quelques points de l'anatomie des Cucurbitacées“, Bull. de la soc. bot. de France, 1882, Bd. XXIX, p. 280, allgemein behandelt von L. Morot, Recherches sur le péricycle, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., Bd. XX, p. 215.

bei Phanerogamen als bevorzugter Ort von Neubildungen nicht nur in den Wurzeln, sondern auch in den Stämmen, ja selbst in den Blättern ergab.

Die sämmtlichen Elemente der primären Rinde sind ebenfalls auf parenchymatische Grundlage zurückzuführen und daher die Gewebe der Rinde mit denjenigen des Centralcylinders und somit auch den parenchymatischen Systemen des Gefäss- und Siebtheils nahe verwandt. Die Grenze der Rinde gegen den Centralcylinder ist dort wo sie sich nicht besonders als Endodermis oder Stärkescheide markirt, nur theoretisch zu ziehen, dieselbe ist aber für alle Fälle festzuhalten. Die innerste Rindenschicht wird von Van Tieghem stets als Endodermis bezeichnet; wir haben für dieselbe „Phloeoterma“ in Vorschlag gebracht, ein Wort, welches auch auf diejenigen Fälle passt, in welchen die Rindengrenze nicht besonders differenzirt ist. Die Bezeichnung Endodermis haben wir für die mit cutinisirtem Radialband versehenen Zellschichten beibehalten, deren Ausbildung aus morphologisch verschiedenen Geweben erfolgen kann. Vorwiegend geht die Endodermis aus der inneren Rindengrenze, somit aus dem Phloeoterma hervor; doch kann sie auch nur einer bestimmten, durch Theilung dieser inneren Rindenschicht erzeugten Zelllage angehören, wie bei zahlreichen Filicineen, oder auch dem Grundgewebe des Centralcylinders ihren Ursprung verdanken, wie bei manchen Equiseten und jedenfalls auch Ranunculaceen, oder sogar im Innern des Gefässbündels liegen, wie in den Blättern von Isoëtes.

Von theoretischer Bedeutung war es festzustellen, dass das Grundgewebe des Centralcylinders die Gefässbündel aus dem Stamm in die Blätter begleitet, und dass sich überhaupt bis in die Gefässbündelenden der Blätter hinein die Gewebe des Centralcylinders gesondert von den anderen halten. Diesem morphologischen Gegensatz von Centralcylinder einerseits, von primärer Rinde und Mesophyll andererseits, entspricht auch ein physiologischer. Die Gewebe des Centralcylinders schliessen das leitende, diejenigen der Rinde das assimilatorische System der Pflanzen in sich ein. Das Mesophyll ist, allen seinen Beziehungen nach, der Rinde beizuzählen und dessen innerste Schicht daher auch, wie die innerste Rindenschicht, als Phloeoterma zu bezeichnen. Dieses Phloeoterma des Blattes ist entweder scharf abgesetzt und cutinisirt, dann als Endodermis um die Blattbündel

entwickelt, oder die ganze Umscheidung der Gefässbündel im Blatte fällt bis zuletzt den Geweben des Centralcylinders zu. Ein solches Verhalten trat uns vornehmlich bei den Monocotylen mit zerstreuten Gefässbündeln entgegen. Es kann das Nämliche bei Dicotylen vorliegen, oder die letzten Abschnitte der Bahn dort von einem Phloeoterma umscheidet sein, oder endlich das Phloeoterma sich auch continuirlich aus dem Stamme in das Blatt fortsetzen. Letzteres findet man wohl nur dann, wenn die innerste Rindenschicht im Stamme als Endodermis ausgebildet ist und eine Endodermis auch die Gefässbündel während ihres ganzen Verlaufs im Blatte umscheidet. Als gewöhnlichstes Verhalten bei Dicotylen dürfte wohl dasjenige gelten, bei welchem die innerste Rindenschicht des Stammes nicht als geschlossene Scheide die austretenden Gefässbündel umgiebt, dieselben vielmehr von Elementen des Centralcylinders umscheidet werden und ein Phloeoterma aus der innersten Mesophyllschicht sich als geschlossene Scheide dann erst ausbildet, wenn die Centralcylinderscheide sehr starke Reduction erfahren hat. Die Centralcylinderscheide wird aber an der, dem Siebtheil entsprechenden, nach aussen gekehrten Seite, oft von der als Stärkescheide im Stamme entwickelten, innersten Rindenschicht rinnenförmig umfasst. Bildet aber auch das Rindengewebe des Stammes nicht eine geschlossene Scheide um das austretende Gefässbündel, sicher ist es, dass es das austretende Bündel im Umkreis der Centralcylinderscheide umgiebt, und dass somit die Continuität zwischen dem Rindengewebe und dem Mesophyll, damit auch der innersten, das austretende Gefässbündel umgebenden Rindenschicht und der innersten Mesophyllschicht gewahrt ist. Die Ausbildung einer Trennungsschicht am Grunde des Blattstiels, die bis auf die Centralcylinderscheide reicht, kann dann freilich späterhin diese Continuität der Gewebe zwischen Rinde und Mesophyll aufheben. Wir haben alle Scheiden, die dem Gewebe des Centralcylinders angehören, als Stelolemmen zusammengefasst. Da wir in allen Fällen fanden, dass die Gefässbündel der Blattspur sich von einander trennen, um in den Centralcylinder des Stammes zu treten, und auch das Gewebe, welches sie bei kreisförmiger Anordnung im Blattstiel zwischen sich einschlossen, in die Rinde des Stammes und nicht in dessen Mark übergeht, so haben wir den Bau des Blattstiels stets als schizostelisch bezeichnet. Schizostelie liegt somit, unserer Auf-

fassung nach, auch dann im Blattstiel vor, wenn die Gefässbündel in Kreise gestellt, durch Interfascicularcambien verbunden und von einer gemeinsamen Stärkescheide umgeben sind. Auch dann befindet sich Gewebe des Centralcylinders nur im Umkreis jedes einzelnen Gefässbündels, und bildet jedes für sich eine Schizostele, während das Gewebe, welches diese Schizostelen gemeinschaftlich umgeben, und das oft das Aussehen eines Markes hat, thatsächlich nur umschlossenes Mesophyllgewebe oder, allgemeiner ausgedrückt, Rindengewebe ist. Anders verhält es sich mit dem Mark, welches die Gefässbündel einer über dem Blatt befindlichen Achselknospe umschliessen; dieses setzt sich thatsächlich in das Mark des Tragsprosses fort. Mit den Schizostelen des Blattstieles tritt hingegen nur das sie unmittelbar umgebende Gewebe in den Centralcylinder des Stammes ein, um sich dort auf Mark, primäre Markstrahlen und Pericykel zu vertheilen. — Nicht anders ist es bei den Gymnospermen, deren Schizostelen in Pinus-Nadeln gleich eine aus der innersten Mesophyllschicht gebildete Endodermis erhalten, welche im Stamm hingegen fehlt. Dieselbe kommt auch in den meisten anderen Coniferen-Blättern nicht zur Ausbildung. Bei den Gefässkryptogamen treten fast allgemein ganze Stelen aus dem polystelen Stamme in die Blätter ein. Diese Stelen sind von der innersten Rindenschicht umschlossen, die meist durch Theilung die Zahl ihrer Schichten vermehrte und eine Schicht als Endodermis ausgebildet hat. Bei diesen Gefässkryptogamen ist es leicht die Rindenschicht welche die Stele umgiebt, bis in die letzte Auszweigung der Blattnerven ununterbrochen zu verfolgen und sich von der Selbständigkeit der Gewebe von Centralcylinder und von Rinde zu überzeugen. Wo eine scharfe Abgrenzung von Centralcylinder und von Rinde im Stamme oder im Blatte nicht vorhanden ist, muss dieselbe auf Grund vergleichend-morphologischer Untersuchung gezogen werden.

Die Ergebnisse mikrochemischer Untersuchungen welche zeigten, dass die Fortleitung der Kohlehydrate aus den Blättern innerhalb der Gefässbündelscheiden vor sich geht [1]), haben anatomisch eine Bestätigung erfahren. Wir lernten

1) Vergl. W. Schimper, Ueber Bildung und Wanderung der Kohlehydrate in den Laubblättern, Bot. Ztg. 1885, Sp. 753.

Fälle kennen, so bei den Palmen, in welchen die Verbindung der Gewebe der Blättchen mit denjenigen des gemeinsamen Blattstiels eine solche war, dass jede andere leitende Verbindung als durch Gewebe des Centralcylinders ausgeschlossen erschien. Nicht anders fanden wir es bei Coniferenblättern, die sich am Grunde so weit einschnüren können, dass nur Gewebe ihres Centralcylinders in den Stamm eintreten. Dass auch bei Dicotylen diese Leitung nur den Geweben des Centralcylinders zukommt, das lehren endlich solche Fälle, in welchen frühzeitig am Blattgrunde eine Korkschicht eingeschaltet wird, welche allein die Gefässbündel sammt ihrer dem Centralcylinder zuzurechnenden Umhüllung passiren. Eine verkorkte Trennungsschicht solcher Art ist beispielsweise am Blattstielgrunde von Aesculus Hippocastanum schon im Juli nachzuweisen. Die frühere Angabe, dass es die Gefässbündelscheiden seien, welche die Ableitung der Kohlehydrate aus den Blättern in den Stamm besorgen [1]), wäre aber dahin noch zu präcisiren, dass es parenchymatische Grundgewebselemente, welche das Gefässbündel aus dem Centralcylinder des Stammes in das Blatt begleiten, sind, denen diese Aufgabe obliegt. Solche Gefässbündelscheiden welche dem Phloeoterma zugehören, werden vornehmlich zur Aufnahme der Kohlehydrate aus der Umgebung und zur Uebermittlung derselben an die Elemente des Centralcylinders oder doch nur zur Leitung auf kurze Strecken innerhalb der Blattspreite dienen, wie denn auch festgestellt worden ist, dass die Stärke innerhalb der aus dem Phloeoterma meist hervorgegangenen Stärkescheide im Stamme ruht [2]). Dass das Vasalparenchym an der Leitung nicht, oder doch nicht wesentlich betheiligt sei, zeigte Schimper, indem er die Gefässbündel aus den Blattrippen von Plantago media aus ihren Scheiden herauszog, ohne dass hierdurch die Ableitung der Kohlehydrate aus den Blättern aufgehoben worden wäre [3]). — Wiederholt haben wir andererseits gesehen, dass die Gefässbündel auch von Sklerenchymfasersträngen begleitet werden können, welche dem Mesophyllgewebe angehören;

---

1) Vergl. Schimper, l. c. p. 756.

2) H. Heine, Ueber die physiologische Function der Stärkescheide, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch, 1885, p. 189.

3) l. c. Sp. 756.

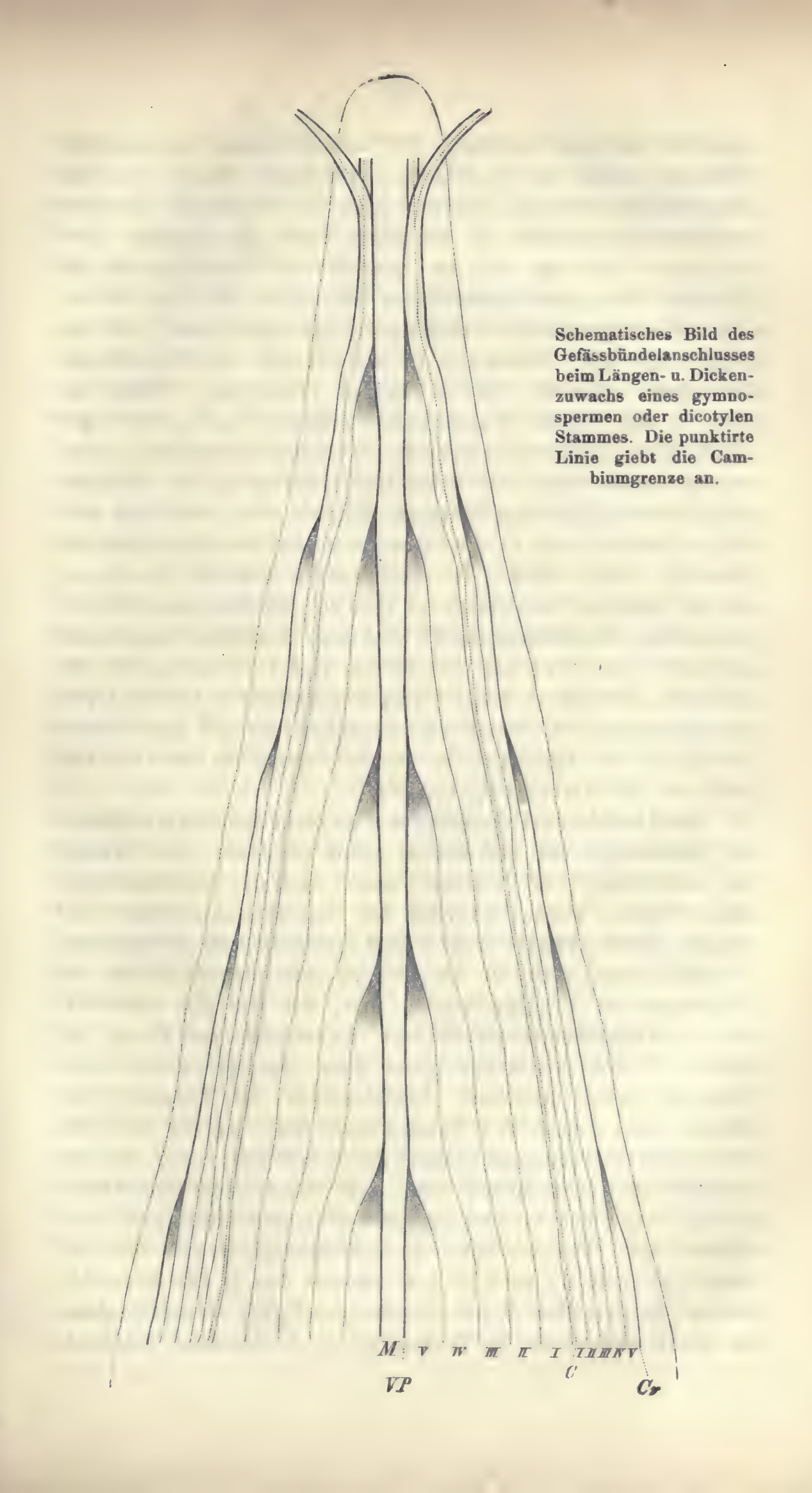
auch liefen wohl solche Sklerenchymstränge von den Gefässbündeln getrennt unter der Epidermis. Diese Sklerenchymstränge zeigten sich vielfach auch von Calciumoxalat oder Kieselablagerungen begleitet. Es brauchten sich aber diese Sklerenchymstränge und ihre Ablagerungen ebensowenig in die Gewebe des Stammes fortzusetzen, als es etwa für die Harzgänge der Coniferenblätter und ihrer Sklerenchymscheiden nothwendig ist.

Der Anschluss der Gefässbündel beim Längen- und Dickenwachsthum des Stammes und der Wurzel.

„Der Stamm der dicotylen Holzflanzen besitzt bekanntlich", so schrieb H. v. Mohl in seinem „Beitrage zur Lehre vom Dickenwachsthum des Stammes der dicotylen Bäume" im Jahre 1869 [1]), „mit nur seltenen Ausnahmen eine conische Gestalt, welche man mit Recht allgemein davon ableitet, dass sein Holz aus Jahresschichten besteht, welche in Form von Kegelmänteln übereinander liegen und von welchen immer der äusserste die älteren um die Länge eines Jahrestriebes überragt." „Es giebt kaum ein elementares Werk", meint H. v. Mohl, „in welchem dieser Bau nicht durch einen schematischen Längsschnitt eines dicotylen verzweigten Gewächses bildlich erläutert wird." Aus fast allen neuen Handbüchern ist diese Figur verschwunden, und es wäre vielleicht erwünscht, ein neues Bild, auf Grund erweiterter Erfahrung, zu construiren. Zu diesem Bilde liegt das Material zum Theil in den bis jetzt behandelten Abschnitten vor, zum Theil veranlasste es anderweitige Untersuchungen. Namentlich fand ich keine Angaben darüber vor, in welcher Weise die Primanen eines neuen Sprosses an die älteren Gewebe ansetzen. Für die Lösung dieser Frage hielt ich mich an die Terminalsprosse, in welchen die betreffenden Beziehungen am klarsten hervortreten. Ich untersuchte eine Anzahl von Gymnospermen und Dicotylen im Frühjahr während des ersten Austreibens und fand ihr Verhalten in den wesentlichen Punkten übereinstimmend. Es stellte sich als der gewöhnliche Fall heraus, dass sich der Holzring des vorjährigen Sprosses nach oben zu verjüngt und mit seinem verjüngten Ende in die Pri-

1) Bot. Ztg., Sp. 1.

manen des neuen Sprosses übergeht. Nicht an die vorjährigen Vasalprimanen, die ja auch thatsächlich schon im Vorjahr functionslos geworden, schliessen somit die neuen an, sie setzen vielmehr den vorjährigen Holzkörper fort. Dabei erfährt dieser Holzkörper, indem er sich an seinem Scheitel verjüngt, eine Veränderung ähnlich derjenigen, welche wir beim Eintritt der Elemente der Zuwachszonen in mehrjährige Blattspurstränge früher constatirt hatten. Bei Coniferen sieht man die Tracheïden sich verengen, die Hoftüpfel in die Quere strecken und so zu treppenartigen Wandverdickungen führen, die am Grunde des neuen Sprosses in schraubenförmige übergehen. Diese setzen sich innerhalb der Primanen fort. Bei den Dicotylen ist während der Verjüngung des Jahresringes ein Abnehmen und ein schliessliches Verschwinden aller Elemente bis auf die Gefässe zu constatiren; diese nehmen aber an Weite ab, vermehren sich zugleich oft deutlich, und gehen durch quer getüpfelte Mittelformen in schraubenförmige Gefässtracheïden über, die sich in die Vasalprimanen des neuen Sprosses fortsetzen. Jeder Vasalprimanenstrang des neuen Sprosses läuft somit nach unten durch Zwischenglieder in behöft getüpfelte Elemente, Tracheïden bei den Gymnospermen, Gefässe bei den Dicotylen, aus, und erhält in solcher Beziehung eine gewisse Aehnlichkeit mit monocotylen Gefässbündeln, die an ihrem Grunde ebenfalls in getüpfelte Gefässformen übergehen. Von den Coniferen die sich wie geschildert verhielten, untersuchte ich vornehmlich die gemeine Kiefer, ausserdem das Knieholz, die Fichte, Edeltanne, Lärche, den Eibenbaum und den gemeinen Wachholder; von Dicotylen die Linde, den Ahorn, verschiedene Weiden, den Birnbaum, die Rothbuche, die Birke, Populus balsamifera, Robinia Pseudacacia, Gleditschien, Caragana arborescens, Gymnocladus canadensis, Glycine, Cercis, Sambucus nigra, Syringa vulgaris und Magnolia Youlan. Etwas abweichend zeigte sich allein die Rosskastanie und zwar nur in dem untergeordneten Punkte, dass der Holzkörper des letztjährigen Sprosses sich nicht nach oben zu verjüngte, vielmehr dachförmig nach innen umlegte. Die in solcher Weise nach dem Marke zu gerichteten Enden setzten sich dann scheitelwärts in Elemente fort, welche nach gewohnter Aenderung ihrer Verdickung in die Primanen des neuen Sprosses übergingen. — Ein schematisches Bild des secundären Zuwachses bei Gymnospermen und Dicotylen würde sich somit wie der nebenstehende Holzschnitt darstellen lassen,



Schematisches Bild des Gefässbündelanschlusses beim Längen- u. Dickenzuwachs eines gymnospermen oder dicotylen Stammes. Die punktirte Linie giebt die Cambiumgrenze an.

wobei *M* das Mark bedeutet, *VP* Vasalprimanen, die einzelnen Holzringe sowie die zugehörigen Bastringe durch einander entsprechende römische Zahlen, dann das trennende Cambium zwischen beiden durch *C*, die Rinde durch *Cr* bezeichet sind. Bei jedem Holzringe ist am Scheitel der Uebergang in die Primanen des neuen Jahresringes zu sehen und der Winkel an der Uebergangsstelle ausschattirt, um anzudeuten, dass an dieser Stelle eine Aenderung in der Structur des Holzkörpers sich bereits vollzieht. Die so häufige Verengung, welche das Mark in den älteren Stammtheilen erfährt, ist in der Figur ebenfalls zum Ausdruck gebracht. — Dieselben Untersuchungen, welche zeigten, dass der vorjährige Holzring in die Vasalprimanen des letztjährigen übergeht, lehrten auch, dass der vorjährige Bastring sich in die Cribralprimanen des neuen Sprosses fortsetzt. Dabei erfährt der Bastring die nämliche Verengung wie der Holzring, und indem er sich zu den einzelnen Cribralprimansträngen zusammenzieht, wird auch sein Bau entsprechend modificirt. Er wird auf Siebröhren und Geleitzellen bei den Dicotylen, Siebröhren und Cribralparenchymfäden bei den Gymnospermen reducirt. Unser schematisches Bild soll auch diesen Uebergang der Bastringe an ihrem Scheitel in die Cribralprimanen zur Anschauung bringen.

Der Anschluss der Seitensprosse ist nicht anders als derjenige der Terminalsprosse und kommt schon im Jahre ihrer Anlage zur Ausbildung. Die Primanen welche nach der Achselknospenanlage führen, werden während der Dickenzunahme des Tragsprosses durch primäre Gefäss- und Siebtheilelemente verstärkt. In diese setzen sich die aufeinander folgenden Elemente des Zuwachses des Tragsprosses so fort, wie wir das seinerzeit für den Gefässbündelcylinder der Kurztriebe von Pinus gefunden. Treibt der Achselspross dann aus, so weisen seine Primanen ganz denselben Anschluss an die Elemente des ganzen Jahresringes des Tragsprosses auf, wie es bei den austreibenden Terminalsprossen der Fall war. Der weitere Zuwachs am Achselspross setzt sich dann auch unmittelbar in das neue, den zweiten Jahresring bildende Holz des Tragsprosses fort. Verharrt aber die Achselknospe im ruhenden Zustande, so wird sie auch in dem zweiten und in den folgenden Jahren, in derselben Weise wie im ersten mit den Elementen des neuen Zuwachses im Tragspross in Verbindung gebracht.

Man sieht diese Elemente ganz ebenso in das Achselknospenbündel ausbiegen, wie wir dies an den mehrjährigen Kurztriebspuren bei Pinus gesehen [1]), und auch hier, wie bei Pinus, erfahren zugleich die älteren Elemente der ruhenden Knospe eine Streckung und Durchreissung.

Dass die Blattspurstränge, solange als die Blätter an den Sprossen in Function bleiben, ebenfalls durch neue Elemente verstärkt werden, die, in der Cambiumgegend des Tragsprosses eingeschaltet, direct an die neuen Elemente des Tragsprosses anschliessen, ist früher ebenfalls schon erörtert worden [2]). Auch an den Blattspursträngen erfahren die erst erzeugten Elemente die durch den Zuwachs des Tragsprosses bedingte Streckung und werden an den Blattspursträngen ausdauernder Blätter schliesslich durchrissen.

Die in den jungen Sprossen auf die erste, rasch vollzogene Streckung, im Anschluss an die Primanen zunächst erfolgende, und von der Basis nach der Spitze fortschreitende Ausbildung der neuen Gefäss- und Siebtheile haben wir, ihres besonderen Baues wegen, als primäre bezeichnet, wenn sie auch weiterhin ohne scharfe Grenze in die secundäre übergeht. In der weit überwiegenden Mehrzahl der von mir untersuchten Fälle beginnt diese erst auf die Primanen folgende Cambiumthätigkeit am Grunde des neuen Sprosses früher als in dem Tragspross und setzt sich von dem neuen Triebe aus auf den Tragspross fort, an dem sie sich, je nach dem gegebenen Stadium der Entwicklung, eine kürzere oder weitere Strecke hin abwärts verfolgen lässt. In dem Scheitel des Tragsprosses, soweit als die mit Structurveränderung verbundene Verjüngung des vorjährigen Holzringes reicht, zeigt das neu erzeugte Holz Elemente, welche zwischen dem primären und secundären Zuwachs vermittelnde Gestalten besitzen. So findet man beispielsweise bei Pinus silvestris an dieser Stelle Tracheïden, welche zwischen den Hoftüpfeln noch Schraubenbänder besitzen, und auch Markstrahlen, deren Elemente noch longitudinal gestreckt sind. Der primäre Zuwachs, der auf die Vasalprimanen im Terminalspross folgt, setzt sich somit nach abwärts in den durch die Cambiumthätigkeit im ganzen Umkreis des einjährigen Zweiges gebil-

---

1) Vergl. p. 113 ff.
2) Vergl. p. 121.

deten Holzring fort und so dann weiter abwärts in die mehrjährigen Zweigabschnitte. Auch nachdem bei Pinus silvestris die neuen Sprosse am 1. Mai schon stark ausgetrieben hatten, und in den einjährigen Tragsprossen fünf Schichten von Tracheïden sich fertig ausgebildet zeigten, war an der Basis achtjähriger Zweige das Cambium noch nicht in Thätigkeit getreten. Im Schafte desselben Baumes war den Proben nach, die mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer entnommen wurden, die Cambiumthätigkeit auch noch nicht im Gange. — Uebereinstimmend fand ich es auch bei anderen Exemplaren der Kiefer und im Wesentlichen ganz ebenso bei den Fichten, die ich untersuchte. — Der neue Holzring des Tragsprosses, der sich in den Holzkörper des neuen Sprosses fortsetzt, bildet somit in den betrachteten Fällen einen zunächst abwärts sich verjüngenden und am unteren Ende auskeilenden Hohlcylinder, der dem vorjährigen Holzring anliegt. Dieser Hohlcylinder hat im neuen Sprosse, und in dem oberen Theile des Tragsprosses, alsbald fertige Elemente aufzuweisen, die in ihre specifische Thätigkeit eingetreten sind. Da nun dieser Hohlcylinder unten blind endigt, so ist er auf radiale Versorgung vom vorausgehenden Holzringe aus angewiesen, daher auch für radiale Verbindung unter den Jahresringen bei Gymnospermen wie bei Dicotylen Sorge getragen ist. Dass diese Verbindung im Besonderen für die Wasserbahnen gegeben ist, darauf habe ich an zahlreichen Stellen hingewiesen. — Bei den Gymnospermen sind an den letzten Tracheïdenschichten des Vorjahres Tangentialtüpfel angebracht, durch welche die Wasserabgabe an das Cambium und an das neue Holz erleichtert wird. Dass diese Thatsache auch dafür spricht, dass der Wasserstrom überhaupt durch die Tüpfel geht, darauf hat schon R. Hartig [1]) hingewiesen. Bei der Kiefer, der solche Tangentialtüpfel abgehen, fällt das gleiche Geschäft den tracheïdalen Markstrahlelementen zu. Demgemäss sehen wir in den jungen Zweigen der Kiefer die tracheïdalen Markstrahlen, welche den ersten secundären Markstrahlen zunächst fehlen, am Schlusse der ersten Vegetationszeit auftreten, so dass sie die radiale Verbindung der Wasserbahnen

---

1) Ueber die Vertheilung der organischen Substanz des Wassers und Luftraumes in den Bäumen, Unters. aus dem Forstbot. Inst. zu München, II, p. 32.

mit dem Zuwachs des zweiten Jahres sichern. Bei solchen Coniferen, die ausser tracheïdalen Markstrahlelementen auch Tangentialtüpfel besitzen, pflegen sich die tracheïdalen Markstrahlelemente nicht gleich im ersten Jahresringe einzufinden [1]. — Bei verschiedenen Leguminosen, die ja im Spätholz vertheilte, die Jahresgrenze erreichende Gruppen enger Gefässe besitzen, war zu constatiren, dass die neuen Gefässe des Frühholzes vielfach vor diesen engen Gefässgruppen, also im Anschluss an die Wasserbahnen des Vorjahres, zuerst fertig gestellt werden. Besonders prägnante Bilder bot mir wiederholt Robinia, Caragana arborescens, Gymnocladus canadensis, aber auch Vitis, Quercus, Fagus, Tilia, Aristolochia und viele andere Pflanzen. Dass ein Anschluss der neuen Bahnen an die älteren in solcher Weise an der Jahresgrenze erfolgt, hat Gnentzsch schon als allgemeine Erscheinung für dicotyle Holzgewächse hervorgehoben [2]. Gnentzsch theilt die verschiedenen, vornehmlich an einheimischen Arten beobachteten Vorkommnisse in solche ein, wo Gefässe die Jahresgrenze erreichen und die neuen Gefässe des Frühholzes an dieselben anlegen, dann in solche, wo radiale Tracheïdenreihen die Gefässe bis zur Jahresgrenze fortsetzen und die Verbindung mit den nächstjährigen Gefässen herstellen, endlich in solche wo beides gegeben ist [3]. Wie bereits Gnentzsch feststellen konnte, ist eine Verbindung durch Oeffnungen zwischen den einander berührenden trachealen Systemen zweier Jahresbildungen nicht zu beobachten, vielmehr nur eine solche durch behöfte Tüpfel. Das tracheale Element des neuen Zuwachses legt sich eine Strecke weit an dasjenige, oder an diejenigen, des Vorjahres an, und die Hoftüpfelhälften werden an den betreffenden Stellen ebenso hinzugebildet, wie wir dies bei den Tangentialtüpfeln der letzten Tracheïdenschicht eines Jahresringes bei Coniferen gesehen.

So wie der primäre und weiterhin der secundäre Zuwachs am Holzkörper des neuen Sprosses, so setzt sich der entsprechende Zuwachs am Bastkörper desselben auch abwärts in den neuen Zuwachs des Tragsprosses fort, und weist der

---

1) Vergl. die Angaben p. 18 u. 20.

2) Ueber radiale Verbindungen der Gefässe und des Holzparenchyms zwischen aufeinander folgenden Jahresringen dicotyler Laubbäume, Flora 1888, p. 309.

3) l. c. p. 326.

Scheitel des Tragsprosses ebenfalls Uebergänge vom primären zum secundären Zuwachs auf. Diese fallen beispielsweise für Pinus silvestris ganz ebenso aus, wie ich dies früher schon für den Uebergang vom primären zum secundären Zuwachs im Bast dieser Pflanze geschildert habe. Namentlich sind hierbei auch wieder vermittelnde Zwischenformen beim Uebergang vom Cribralparenchym zu den Markstrahlen, und bei der Uebergabe der eiweisshaltigen Elemente an diese, zu beobachten.

Würden nur solche Fälle, wie die eben ins Auge gefassten, existiren, wo die Cambiumthätigkeit von den neuen Trieben aus sich abwärts fortpflanzt, so käme man leicht zu der Vorstellung, dass die Cambiumthätigkeit der älteren Stammtheile überhaupt erst durch diejenige der jüngsten Triebe angeregt werden könne. Das würde aber nicht ganz zutreffen, denn es existiren auch Holzarten, bei welchen die Cambiumthätigkeit der älteren Sprosstheile vor dem Austreiben der neuen Sprosse ihren Anfang nimmt. So fand ich es bei Robinia Pseudacacia und Gleditschien, während sich verschiedene andere Leguminosen, so Caragana arborescens, Wistaria sinensis, Cercis Siliquastrum, wie die zuerst behandelten Pflanzen verhielten. Bei Robinia Pseudacacia fand ich am 30. April, während die Knospen eben erst auszutreiben begannen, die Cambiumthätigkeit innerhalb der Zweige schon im Gange; an bestimmten Stellen des neuen Holzringes zeigten sich einzelne der weiten Frühjahrsgefässe schon fertig, oder annähernd fertig gestellt. An der Basis fünfjähriger Zweige war die Holzbildung ebenso weit fortgeschritten, als an deren Spitze. Dem alten Schafte desselben Baumes mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer entnommene Späne bewiesen ausserdem, dass auch dort die Cambiumthätigkeit das gleiche Maass erreicht hatte. Bei Gleditschia horrida waren am 30. April noch alle Knospen geschlossen, nichtsdestoweniger zeigte sich die Cambiumthätigkeit innerhalb der untersuchten Zweige ebenso weit, ja noch weiter als bei Robinia gefördert. Dem Schafte mit dem Zuwachsbohrer entnommene Proben führten eine gleich weit fortgeschrittene Cambiumthätigkeit ebenfalls vor. Bei Gymnocladus canadensis, dessen Knospen im ersten Austreiben waren, hatte die Cambiumthätigkeit auch schon begonnen, doch an der Basis sechsjähriger Zweige noch keine fertigen Elemente geliefert, während in einjährigen Sprossen eine Anzahl Gefässe schon

ganz ausgebildet war. Gymnocladus zeigte also bereits eine Förderung der Entwicklung nach den austreibenden Sprossenden hin. Auffälliger Weise verhielt sich Robinia hispida anders als Robinia Pseudacacia. Die Knospen waren im Austreiben; die Cambiumthätigkeit an den Spitzen der vorjährigen Tragsprosse eingeleitet, hingegen nicht am Grunde derselben. Cercis Siliquastrum überbot aber in ihrem Verhalten selbst alle Repräsentanten anderer Familien, denn auch an den Spitzen der Tragsprosse fehlten noch fertiggestellte Gefässe, ungeachtet die Blätter der neuen Sprosse über ein Drittel ihrer Grösse bereits erreicht hatten.

Zeigt aber auch das Beispiel von Robinia Pseudacacia und von Gleditschia, dass die Cambiumthätigkeit der älteren Stammtheile nicht von den neuen Trieben auszugehen braucht, so ist doch letzteres das gewöhnliche Verhalten und es treten meist in die an den Spitzen der neuen Triebe eingeleitete Cambiumthätigkeit immer entferntere Stammtheile ein. Eine andere Ursache, welche eben auch als Reiz auf das Cambium einwirkt und veranlassen könnte, dass dasselbe in älteren Stammtheilen, vor dem Austreiben der Knospen, seine Thätigkeit anfange, liegt in dem aufsteigenden Transpirationsstrome. Dieser freilich ist in dem unbelaubten Baume nur schwach und wächst erst an mit der Entfaltung der Knospen [1]). Endlich machen sich aber auch ererbte Eigenschaften geltend, welche als specifische Reize die Cambiumthätigkeit auslösen, auch wenn der Einfluss der Triebbildung und der Verdunstung ausgeschlossen wird. So tritt beispielsweise bei Kiefern, Fichten, Edeltannen, Lärchen das Cambium auch in Thätigkeit, wenn man diese Bäume vor Beginn der Triebbildung im Frühjahr entästet und entgipfelt [2]). Die Zahl und der Bau der alsdann erzeugten Elemente werden von der Menge der zur Verfügung stehenden Reservestoffe sich abhängig zeigen, ausserdem den Mangel eines regulirenden Einflusses der transpirirenden Flächen erkennen lassen. Die Menge der zur Verfügung stehenden Reservestoffe, vornehm-

1) Vergl. Th. Hartig, Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen, 1878, p. 356; Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 139.

2) Vergl. Th. Hartig, Entlaubungsversuche an der Weymouthkiefer, Bot. Ztg. 1862, p. 73, und R. Hartig, Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume, 1885, p. 33.

lich der Eiweisskörper, eventuell auch ein Mangel an denselben, muss sicher auch unter normalen Verhältnissen zur Ursache von Abweichungen im Fortschreiten der Cambiumthätigkeit werden. So liesse sich unter Umständen das verschiedene Verhalten nahe verwandter Species, ja verschiedener Individuen derselben Art, begreifen. Da aber zugleich äussere Einflüsse, vor allem Temperatur und Feuchtigkeit, in alle diese Vorgänge eingreifen, so hält es im einzelnen Fall schwer, die verschiedenen wirkenden Ursachen auseinanderzuhalten. — In Aststümpfen an belaubten Stämmen tritt im Gegensatz zum Verhalten entästeter und entgipfelter Stämme das Cambium meist nicht in Thätigkeit, auch wenn der Aststumpf noch längere Zeit am Leben bleibt. Hier dürfte eine Ableitung der Reservestoffe, vornehmlich der Eiweisskörper nach abwärts und der Mangel einer neuen Zufuhr, die wichtigste Ursache der Erscheinung sein. In welcher Weise aber, unter gegebenen Umständen, selbst in einem älteren, aber noch theilungsfähigen Gewebe ein constant gerichteter Wasserstrom als Reiz wirken kann. das zeigen in vorzüglichster Weise gesteckte Begonienblätter, bei welchen durch Theilung alter Mesophyllzellen Gefässbündelstränge entstehen, welche ein vorhandenes Blattbündel mit einer aus der Epidermis hervorgegangenen, austreibenden Adventivknospe verbinden.

Von älteren Angaben über den Ort, an welchem der Zuwachs innerhalb gymnospermer und dicotyler Bäume beginnt, und die Richtung, in welcher er fortschreitet, stimmen besonders die Th. Hartig'schen [1]) Erfahrungen zu den meinigen. Die Holzbildung fängt nach Th. Hartig „in den oberen Extremitäten der Bäume an und setzt sich langsam nach unten fort". Th. Hartig giebt als Beginn der Cambiumthätigkeit den Anfang Mai an und führt weiter aus, dass halbzöllige Seitenwurzeln beim Ahorn Mitte Juni, bei der Kiefer und Lärche Anfang Juli, bei der Eiche Anfang August von derselben erreicht werden. Die Periode der Holzbildung dauert somit in den höheren Baumtheilen, nach Th. Hartig, weit länger als in den tieferen. In den Gipfeltrieben nehme sie fünf Monate (Mai bis September), in den Seitenwurzeln nur zwei Monate (August bis September) in An-

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1858, p. 332.

spruch. Russow[1]) fand hingegen im scheinbaren Gegensatze zu Th. Hartig und zu mir, dass bei der Esche, Eberesche, Pappel, Kiefer, Fichte der Zuwachs im Stamm zuerst, das heisst einige Tage früher als in den jüngsten Zweigen, beginnt, bei der Ulme etwa gleichzeitig in Stamm und Zweigen. In mehrjährigen Zweigen und Aesten sollte dann aber, so wie ich es auch fand, der Zuwachs sich später als in den einjährigen einstellen. In den einjährigen Zweigen schreitet, nach Russow, der Zuwachs auch besonders rasch, wesentlich schneller als in den mehrjährigen fort. Die Behauptung von Russow, dass in den Stämmen der Zuwachs früher als in den Zweigen beginne, bezeichnete ich als einen nur scheinbaren Widerspruch gegen Hartig's und meine Angaben und bin ich auch überzeugt, dass Russow's Behauptung richtig ist. Es ergiebt sich nämlich, meiner Ansicht nach, aus Russow's Angabe nur, dass in den hohen Breiten, in welchen er seine Beobachtungen anstellte, die anderweitigen Ursachen, welche die Cambiumthätigkeit anregen, sich früher geltend machen, als der Austrieb erfolgt. Nach Rob. Hartig[2]), der seine Beobachtungen wiederum unter ganz ähnlichen Bedingungen wie Th. Hartig und wie ich selbst anstellte, beginnt bei den Nadelhölzern im geschlossenen Waldbestande die Zuwachsthätigkeit im Gipfel oft um vier Wochen früher als am unteren Stammtheil. Auch bei der Rothbuche stellte Rob. Hartig fest, dass die Cambiumthätigkeit sich zuerst in den Zweigen, im Anschluss an die Triebbildung, einfindet[3]). Ob im eigentlichen Schafte die Holzbildung früher oben oder unten beginnt, liess sich aber bei der Rothbuche nicht erkennen. Im 150-jährigen Baume hatte am 31. Mai die Zuwachsthätigkeit auf Brusthöhe zweifellos angefangen, in allen anderen Höhen dagegen nicht. Im 100-jährigen Bestande schien sie sich fast völlig gleichmässig im ganzen Stamme eingestellt zu haben; im 50-jährigen besass sie vom 15. Juni an oben schon einen Vorsprung. — Während bei den von mir untersuchten Fichten das Cambium der Zweige in voller Thätigkeit stand, während der Schaft noch ruhte, beobachtete R. Hartig, dass bei licht erwachsenen Fichten die cambiale Thätigkeit

---

1) Sitzber. d. Dorp. naturf. Gesellsch., 1882, p. 385.
2) Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume, 1885, p. 36, 103.
3) Das Holz der Rothbuche, 1888, p. 51.

des Schaftes der Triebbildung oft um vier Wochen vorauseilte [1]). — Dass unter Umständen die Exposition auch den Beginn der Cambiumthätigkeit auf eine bestimmte Stammseite verschieben kann, lässt sich aus den schon früher erörterten Mer'schen Untersuchungen entnehmen [2]). Je nach Standort und Klima ergeben sich somit bei derselben Holzart nicht unbedeutende Schwankungen für Beginn und Verlauf der Jahresringbildung, so dass von Einzelbestimmungen an sich wenig Aufschluss über das Wesen der Erscheinung zu erwarten wäre. Nach dem Vorausgeschicktem lässt sich wohl aber behaupten, dass unter sonst günstigen, gleichmässig den ganzen Baum treffenden Bedingungen die Cambiumthätigkeit in den Zweigen beginnen, an diesen bis zum Schafte herabsteigen, im letzteren aber, wenigstens bei vielen Holzarten, annähernd gleichzeitig in der ganzen Höhe sich einstellen dürfte. So werden wohl die von der Cambiumthätigkeit in den Trieben ausgehende Anregung, der durch den Transpirationsstrom ausgeübte Reiz, und ererbte Eigenschaften, in den meisten Fällen zusammenwirken, um in höheren Bäumen die Gesammtthätigkeit des Cambiums zu bestimmen.

Aus den Angaben von Th. Hartig geht schon hervor, dass in unseren Breiten die Waldbäume mit Ende August ihre Zuwachsthätigkeit im Holz vollendet haben. Ich betone ausdrücklich „im Holze", da bisher übersehen wurde, dass die Zuwachsthätigkeit an der Bastseite wesentlich länger anhält. Nach Rob. Hartig ist in dem Rothbuchenbestand der Gegend von München bis Mitte Juni der Zuwachs im Holz etwa zu $^1/_3$, Anfang Juli zu $^1/_2$, Ende Juli zu $^3/_4$ fertig, und im Monat August kommt es früher oder später (an der Holzseite, wie ich wiederum hinzufüge) zum vollen Abschluss. Die ganze Jahresringbildung nach der Holzseite zu, beschränkt sich also auf ca. $2^1/_2$ Monate. Auch bei den Nadelhölzern ist nach Rob. Hartig die Holzbildung Mitte August beendet [3]). Der Abschluss des Holzwachsthums bei unseren Bäumen im August veranlasste mich zuvor schon, die Bezeichnung „Spätholz" für das

1) Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 409.

2) Des causes qui produisent l'excentricité de la moelle dans les sapins, Comptes rendus 1888, Bd. CVI, p. 313, und De l'influence de l'exposition sur le développement des couches annuelles dans les sapins, Journ. de Botanique, 1888, p. 165 ff., 184 ff.

3) Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume, p. 36.

früher gebrauchte „Herbstholz" zu wählen. Th. Hartig schlug für „Herbstholz" „Sommerholz" vor, eine Benennung, die auch das gegen sich hat, dass sie nur für eine bestimmte Breite passt. „Frühholz", „Folgeholz" und „Spätholz", wie ich jetzt schreibe, präjudicirt aber nicht über die Jahreszeit und lässt sich an allen Orten brauchen. Die Cambiumthätigkeit nach der Bastseite hin dauert, meiner Erfahrung nach, bei unseren Hölzern fast allgemein bis spät in den Herbst hinein, und nach Einstellung der holzbildenden Thätigkeit des Cambiums kann die ganze assimilatorische Arbeit des Laubes dazu verwandt werden, die Reservestoffbehälter mit Stärke und die neu hinzugebildeten Siebröhren mit eiweissartigen Körpern zu füllen.

Theodor Hartig hatte bei Behandlung der Rothbuche hervorgehoben [1]), dass im geschlossenen Hochwalde die Jahresringe nach oben, also nach den jüngeren Theilen des Schaftes hin, allmählich breiter werden. Hugo von Mohl dehnte dieses Ergebniss auf die Stämme unserer Nadelhölzer aus [2]). Er meint, es sei unzweifelhaft, dass bei unseren Nadelhölzern unter allen Umständen, bei normal gewachsenen Stämmen die Jahresringe von unten nach oben an Dicke zunehmen. Diese Behauptung hat weiterhin durch Robert Hartig [3]) eine Einschränkung erfahren. Nur die im Bestandesschluss erwachsenen Bäume, deren Kronenentwicklung seitlich behindert wurde, die aber nicht übergipfelt sind, haben eine nach oben zunehmende Ringbreite aufzuweisen. Eben solche Bäume, die stark übergipfelt sind, zeigen nach unten verminderten Zuwachs oder gänzliches Aussetzen der Jahresringbildung. Bei solchen Bäumen endlich, die eine sehr stark entwickelte Krone haben, ist eine Steigerung des Zuwachses von oben nach unten festzustellen. Nach neuerdings veröffentlichten Untersuchungen Robert Hartig's [4]) nimmt bei dominirenden Rothbuchen die Jahresringbreite von oben nach unten ab und bleibt sich nur in einzelnen Fällen periodisch am ganzen Schafte gleich. Nach Freistellung, z. B. bei der

---

1) Naturgeschichte der forst. Culturpflanzen Deutschlands, p. 158.

2) Ein Beitrag zur Lehre vom Dickenwachsthum des Stammes der dicotylen Bäume, Bot. Ztg. 1869, Sp. 6.

3) Zur Lehre vom Dickenwachsthum der Waldbäume, Bot. Ztg. 1870, Sp. 508.

4) Das Holz der Rothbuche, p. 53.

natürlichen Verjüngung oder an Oberständern im Mittelwaldbetriebe beim Abtriebe des Unterholzes, tritt hingegen immer eine gewaltige Zunahme der Ringbreite im unteren Stammtheile ein, wogegen im oberen Theile die Ringbreite sich gleich bleibt, ja oft unter das bisherige Maass herabsinkt. — R. Hartig [1]) möchte die grössere Ringbreite in den oberen Stammtheilen den günstigeren Temperaturverhältnissen zu Beginn der Vegetationsperiode theilweise zuschreiben, andererseits auch dem Umstande, dass „die Bildungsstoffe bei ihrem Abwärtswandern dort noch im reichlicheren Maasse vorhanden sind, die Cambialschicht kräftiger ernährt werden kann als im unteren Stammtheil, an dem sich die Bildungsstoffe über einen viel grösseren Umfang zu vertheilen haben“. — Auch die absteigende Holzbildung, die als die normale gelten kann, muss ein Abnehmen der Jahresringdicke in der Richtung von oben nach unten begünstigen. — Die Zunahme der Jahresringdicke nach oben erscheint an sich förderlich, da ja sonst die Abnahme des Schaftdurchmessers eine wesentliche Verengung der Wasserbahnen zur Folge haben musste. Der Verengung der Wasserbahn in aufsteigender Richtung kann freilich auch dadurch vorgebeugt werden, dass die Zone des weitlumigeren Frühholzes eine besondere Förderung erfährt. Solches giebt R. Hartig beispielsweise für Kiefern, Tannen und Lärchen an [2]). Die weitlumigen Frühtracheïden sollen nach oben zu auf Kosten der englumigen Spättracheïden zunehmen. Der aus der Verkleinerung des Stammdurchmessers erwachsenden Verengung der Wasserbahnen nach oben wird andererseits auch vielfach bei Kernbäumen, so bei der Eiche [3]), durch Dickenzunahme des Splintes in jener Richtung abgeholfen [4]).

Ich habe alle diese Angaben hier mit aufgenommen, weil sie das Bild vervollständigen, das wir uns von dem Aufbau eines, nach Art der Gymnospermen und Dicotylen in die Dicke wachsenden Holzkörpers, zu entwerfen haben. Von physiologischem Interesse sind besonders diejenigen Fälle des Zu-

---

1) l. c. p. 55.

2) Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 409.

3) Ebendas. p. 405.

4) Anders bei der Kiefer, wo die Zahl der Jahresringe im Splinte und die Dicke derselben nach oben abnimmt. Ebendas. p. 405.

wachses, in welchen Rob. Hartig ein gänzliches Aussetzen der Jahresringbildung in absteigender Richtung angiebt. Die ganze Wasserzufuhr für die blind auslaufenden Jahresringe muss da in radialer Richtung vermittelt werden, wobei freilich zu bemerken ist, dass in den herangezogenen Fällen es sich um stark übergipfelte Bäume handelt, bei welchen an den Transpirationsstrom keine zu hohen Anforderungen gestellt werden.

Ein schematisches Bild, welches den secundären Zuwachs einer gymnospermen oder dicotylen Wurzel darstellen soll, sieht anders als dasjenige aus, welches uns den Sprosszuwachs am Scheitel vorführen sollte.

Schematisches Bild des Gefässbündelanschlusses beim Dickenwachsthum einer gymnospermen oder dicotylen Wurzel. Der punktirte Strich *c* giebt das Cambium, die römischen Zahlen nach links die Holzringe, von den jüngsten beginnend, die römischen Zahlen nach rechts die entsprechenden Bastringe an. *VP* Vasalprimanen; *V* primäre Gefässtheile; *CP* Cribralprimanen. Um Vasalprimanen und Cribralprimanen zugleich aufzunehmen, musste dieses Schema den Centralcylinder der Wurzel in zwei Ansichten, einer medianen und einer peripherischen, aufnehmen; die Wurzel ist diarch gedacht worden. In einer weniger peripherischen Lage als die Cribralprimanen, der Innenseite des primären Siebtheils entsprechend, sind die terminalen Ränder der Holzringe eingetragen.

In der That kann sich nämlich in der Wurzel der secundäre, letztjährige Zuwachs an seinem organischen Scheitelrande nicht direct in die Primanen des Wurzelscheitels, ja nicht einmal unmittelbar in die primären, an diese Primanen anschliessenden Gefässtheile fortsetzen. Die Primanen und die primären Gefässtheile der Wurzel bilden vielmehr bei Gymnospermen und Dicotylen, ganz ebenso wie bei Monocotylen, gerade Stränge, die an ihrem organischen Scheitel durch neuen Zuwachs fortdauernd verlängert werden. Die Elemente des Dickenzuwachses bei Gymnospermen und Dicotylen, welche bekanntlich an der Innenseite des Siebtheils auftreten, legen sich an die seitlich oder auch medianwärts nächsten primären Gefässtheile an und müssen von denselben die zu leitenden Stoffe übernehmen. Dieser directe Anschluss der secundären Wasserbahnen an die primären ist nur stellenweise zu constatiren [1]). Die secundären Gefäss- und Tracheïdenreihen hängen nur an ihren Enden mit den primären zusammen, und da die Zahl der letzteren nur gering ist, so brauchen auch die Anschlussstellen nicht zahlreich zu sein. Daher kann man auch Querschnitte treffen, welche die secundären Tracheïden und Gefässe räumlich durch holzparenchymatisches Gewebe von den primären Tracheïden und Gefässen getrennt zeigen. Ja vielfach kann der stellenweise festzustellende Contact der primären und secundären Wasserbahnen als etwas mehr Zufälliges erscheinen. Das ist wohl die Ursache zahlreicher älterer Abbildungen von Wurzelquerschnitten zu Beginn des Dickenzuwachses, die den secundären Zuwachs von den primären Gefässtheilen durch eine parenchymatische Gewebsschicht getrennt zeigen. Wäre das wirklich der Fall, so müsste der von den primären Tracheïden oder Gefässen geführte rohe Nahrungssaft erst durch Vermittlung der trennenden Parenchymschicht den secundären Wasserbahnen übermittelt werden, und stünden somit, im Gegensatz zum Stamm, die primären und secundären Wasserbahnen in der Wurzel nicht in unmittelbarem Zusammenhang. Dieser unmittelbare Zusammenhang ist nun aber thatsächlich vorhanden, aber auf relativ nur wenig zahlreiche Punkte beschränkt, was sich

---

1) Vorgeführt beispielsweise im seitlichen Anschluss bei Van Tieghem, Traité de Botanique, II. Aufl., p. 721, für Phaseolus multiflorus.

ja aus den in einer solchen Wurzel gegebenen Verhältnissen unschwer erklärt. Denn relativ nur wenige secundäre Wasserbahnen genügen, um den von den primären Bahnen zugeführten Strom aufzunehmen. Die Wurzel wächst so lange, als es die äusseren Bedingungen gestatten, in die Länge fort, der secundäre Zuwachs eilt diesem Längenwachsthum nach, und so kommt es, dass die Elemente desselben sich fort und fort übergipfeln. Immer wieder können somit die Enden dieser secundären Elemente mit den sich geradeaus fortsetzenden primären Wasserbahnen in Verbindung treten; nothwendig wird ein neuer Contact thatsächlich erst wieder dann, wenn an älteren Contactstellen die Bahnen ausser Function gesetzt werden. Die Thätigkeit der primären Bahnen hält aber jenseits der oberen Grenze des secundären Zuwachses, nach der organischen Basis der Wurzel hin, auf eine weitere Strecke noch an. Bei jeder einzelnen Wurzel würde ein sehr geringer secundärer Zuwachs für die Entlastung der primären Wasserbahnen genügen. Das reich verzweigte System, welches aber ältere Gymnospermen- und Dicotylenwurzeln zu tragen haben, macht auch bei ihnen eine dauernde Erweiterung der Leitungsbahnen und die Bildung eines mächtigen Holzkörpers nothwendig. Die einzelnen Jahresringe setzen sich continuirlich von der Mutterwurzel auf die Tochterwurzeln fort, und wie im Stamme ist es auch in der Wurzel nur der je äusserste Jahresring, welcher mit den primären Leitungsbahnen in directer Verbindung steht, die Betheiligung älterer Jahresringe an der Leitung muss daher auf radial hergestellten Verbindungen beruhen. — Die secundären Siebtheile in den Wurzeln werden an der Innenseite der primären angelegt und berühren dieselben unmittelbar, so dass für eine Continuität der Leitung in den Siebröhren entsprechend gesorgt ist. Wie im secundären Zuwachs des Holztheils, so wird auch in demjenigen des Basttheils eine dauernde Uebergipfelung, im Anschluss an das anhaltende Längenwachsthum der Wurzel, erfolgen.

Wie wir sehen, ist die Beziehung des secundären Zuwachses zu den primären Gefässbündeltheilen in der Wurzel der Gymnospermen und Dicotylen eine ganz andere als im Stamme. Im Stamme bilden die secundären Gefässbündeltheile mit den primären ein einziges organisches Ganze, und setzen sich die secundären Gefässbündeltheile an ihren Enden in die

primären fort; in den Wurzeln hingegen sind primäre und secundäre Gefässbündel zwei verschiedene Systeme, so zwar, dass das secundäre dem primären nur angelagert erscheint. Die Wurzel hat eben einen eigenartigen primären Bau, der mit ihrer specifischen Function zusammenhängt und der erst mit dem Aufhören dieser Function durch einen anderen ersetzt werden kann. Die specifischen Wurzelfunctionen der Wasseraufnahme aus dem Boden halten sich innerhalb der den primären Aufbau zeigenden Theile, und dem secundären Zuwachs fallen nur noch diejenigen Functionen zu, die auch der Stamm zu vollziehen hat. Für diese ist aber der dem Stamme zukommende Aufbau vortheilhafter, derjenige auch, der am besten die Continuität zwischen den Leitungsbahnen im Zuwachs der Stamm- und Wurzeltheile sichert. So erhalten denn die mit secundärem Zuwachs begabten Wurzeln der Gymnospermen und Dicotylen in ihren älteren Theilen einen durchaus stammartigen Aufbau, während die den specifischen Wurzelbau zeigenden Theile alsbald ausser Function gesetzt und, soweit peripherisch gelegen, eliminirt werden.

Der Anblick der beiden Schemata des Gefässbündelanschlusses belehrt uns auch darüber vollständig, warum die letzterzeugten Jahresringe bei Gymnospermen und Dicotylen es sind, die, wie vor Zeiten schon Treviranus [1]), neuerdings Rob. Hartig [2]) und Wieler [3]) hervorhoben, vornehmlich der Wasserleitung dienen. Eigentlich ist es der letzte Jahresring nur, der sich in den primären und den secundären Gefässtheil der neuen Triebe und in die primären Gefässtheile der transpirirenden Flächen direct fortsetzt; jede Betheiligung älterer Jahresringe an der Leitung muss in radialen Bahnen vermittelt werden. Da nun, wie die anatomischen Befunde lehren, der Holzkörper weit

1) Physiologie der Gewächse, 1835, Bd. I, p. 287.

2) Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen, Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, Heft II, p. 28, und Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, ebendaselbst Heft III, p. 47.

3) Ueber den Antheil des secundären Holzes der dicotyledonen Gewächse an der Saftleitung und über die Bedeutung der Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Flächen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 104.

vollkommener für longitudinale als für transversale Leitung eingerichtet ist, so dürfte hierdurch auch die Grenze directer Betheiligung der radial auf einander folgenden Jahresringe an der Wasserleitung bestimmt werden. Diese Grenze wird je nach der Holzart verschieden tief im Holzkörper liegen, für Splinthölzer aber ebenso gut wie für Kernhölzer gegeben sein. Auch der letzte Zuwachs im Bastkörper ist es allein, der sich direct in die neuen Sprosse und aus diesen in die assimilirenden Blattflächen fortsetzt. Im Gegensatz zu den Gefässen und Tracheïden des Holzkörpers ist aber eine directe radiale Verbindung unter den Siebröhren im Stamm in den meisten Fällen ausgeschlossen; sie communiciren nur in tangentialer Richtung. Es ist daher die Dauer der Thätigkeit der Siebröhren auch ganz anders eingeschränkt als diejenige der Wasserbahnen und im Allgemeinen nur auf die Lebensdauer der sie füllenden assimilirenden Flächen berechnet. Die meisten Siebröhren werden nur einmal gefüllt und haben mit ihrer Entleerung auch ihre Aufgabe vollendet. Wiederholte Füllungen, so wie dies etwa bei Vitis der Fall, setzen auch bessere Verbindungen in radialer Richtung voraus.

Bei den des secundären Zuwachses entbehrenden Dicotylen, sowie bei den Monocotylen und Gefässkryptogamen, bildet das primäre Gefässbündelsystem ein einheitliches Ganze, in welchem die Continuität der einzelnen Bestandtheile gewahrt ist, wie kaum weiter erwähnt zu werden braucht. Wenn ein solches System jahrelang zu functioniren hat, so werden auch die Siebröhren desselben wiederholt gefüllt und entleert, eine Erscheinung, wie sie in Rhizome, vornehmlich in denjenigen der Monocotylen, sichergestellt werden kann.

Bei den Monocotylen mit Dickenwachsthum übergipfeln sich die geschlossenen, im Verdickungsring erzeugten, secundären Gefässbündel und schliessen mit ihren Enden an das peripherische Netzwerk an, das von den unteren Enden aller primären Gefässbündel gebildet wird. Wie bei Dicotylen ist es somit die äussere, zuletzt an dem in die Dicke wachsenden Stamme erzeugte Gefässbündelzone, die sich direct in diejenigen Bahnen fortsetzt, welche die transpirirenden und assimilirenden Flächen bedienen. Ein experimenteller Nachweis dafür, dass an stärkeren Drachenbäumen die peripherische Gefässbündelzone die Leitung vorwiegend oder ausschliesslich besorge, und dass die

inneren Gefässbündel dort ausser Function gesetzt seien, ist noch nicht erbracht; dass aber in der That ohne diese inneren Gefässbündelcomplexe ein starker Drachenbaum weiter existiren kann, darüber hat uns die Natur selbst belehrt. Der berühmte Drachenbaum zu Orotava, der im Jahre 1867 durch einen Sturm zerstört wurde, und dessen Stamm am Boden 79 Fuss im Umfang maass, soll seit undenklichen Zeiten hohl gewesen sein [1]). — Da bei allen nach Art der Drachenbäume in die Dicke wachsenden Monocotylen den Wurzeln ganz das nämliche Dickenwachsthum wie dem Stamme zukommt, so setzen sich die äusseren Gefässbündelbahnen des Stammes auch abwärts in diejenigen Bahnen fort, welche mit ihren Enden an die primären Gefäss- und Siebtheile der letzten Wurzelauszweigungen anschliessen. In welcher Weise dieser Anschluss geschieht, haben wir bei Dracaena im Einzelnen verfolgt. Der Gefässtheil des secundären Gefässbündels setzt an zwei angrenzende primäre Gefässtheile, der secundäre Siebtheil direct an den primären an. Das merkwürdige Durchbrechen der Endodermis, welches wir nach begonnenem Dickenwachsthum in Dracaena-Wurzeln constatirten, erfolgt erst nach geschehenem Anschluss an die primären Theile und hat keine Continuitätsunterbrechung im Verlauf der secundären Gefässbündel zur Folge, da die Endodermis stellenweise gesprengt wird und die einzelnen Gefässbündel die betreffenden Stellen durchlaufen. An diesen Stellen stossen zunächst die Gewebe des Pericykels und der ausserhalb der Endodermis gelegenen Rinde auf einander, verwachsen und stellen die Continuität zwischen den dem Wurzelscheitel näheren, im Pericykel gelegenen, und den vom Wurzelscheitel entfernteren, ausserhalb der Endodermis gelegenen Theilen des Verdickungsringes her.

Wir haben im speciell anatomischen Theile für Monocotylen eine Verengung der Leitungsbahnen in absteigender Richtung constatirt und in mehreren Fällen festgestellt, dass die Vasalprimanen zur Deckung des vollen Transpirationsbedarfs völlig ausgebildeter Blätter ausreichen können. Nunmehr wurde auch

1) Vergl. Schacht, Der Baum, II. Aufl., p. 310; Lindley und Moore, The Treasury of Botany, p. 426. Die Angaben über den Umfang dieses Stammes gehen auseinander, was hier aber irrelevant ist.

darauf hingewiesen, dass bei gymnospermen und dicotylen Bäumen der Holzkörper der neuen Sprosse sich zunächst nach abwärts auskeilt und somit relativ unvollkommene Bahnen den Transpirationsbedarf der jungen Blätter zu decken haben. Auch dieses zeugt für die hohe Leistungsfähigkeit der Bahnen. — Die Thatsache der Versorgung entfalteter Blätter durch Vasalprimanen, die mich bei Monocotylen zunächst etwas überrascht hatte, kehrt auch nicht selten bei Dicotylen wieder. So fand ich an den jüngeren, noch im Längenzuwachs begriffenen Sprossen von Populus balsamifera, am 1. Mai, die obersten der bereits ausgewachsenen, oder fast ausgewachsenen, von noch nicht völlig gestreckten Internodien getragenen Blätter, nur durch Primanen versorgt. Aehnlich verhielten sich unter krautartigen Pflanzen Polygonum sachalinense und Aconitum Napellus. Bei Acer platanoides und Aesculus Hippocastanum waren für Versorgung halb erwachsener Blätter nur die Primanen da, während fertiggestellten Blättern die primären Gefässbündeltheile bereits zur Verfügung standen. Letzteres ist das gewöhnliche Verfahren bei Holzpflanzen und krautartigen Gewächsen. Dabei lässt sich allgemeiner etwa aussprechen, dass dort, wo die Fertigstellung der Blätter der vollen Streckung der Internodien vorauseilt, diese Blätter vorerst nur auf die Primanen angewiesen sind; dass umgekehrt um so mehr anderweitige wasserleitende Elemente dem Blatte im Augenblicke seiner Fertigstellung zur Verfügung stehen, je später diese Fertigstellung auf die vollendete Streckung des zugehörigen Internodiums folgt. Für alle Fälle ist aber die Leistungsfähigkeit der engen Vasalprimanen als Wasserbahnen so gross, dass sie allen Ansprüchen der zugehörigen Blätter genügen können, ungeachtet gerade die jungen Blätter, wie schon bei Zea Mays hervorgehoben wurde[1]), ein besonders hohes Wasserbedürfniss aufweisen.

---

1) p. 358. Vergl. auch v. Höhnel, in Wollny's Forschungen auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd. I, p. 315.

Ueber Weite und Länge der Gefässe.

Aelteren Erfahrungen gemäss sind auch mir im Laufe meiner Untersuchungen die weitesten Gefässe bei den Lianen entgegengetreten. Dank der Gefälligkeit des Herrn Dr. Heinrich Schenck war ich da in der Lage, die extremsten Fälle aus eigener Anschauung kennen zu lernen. de Bary gab bereits an, dass die Weite der Gefässe 0,3 bis 0,5 mm, ja bei Calamus Draco 0,562 mm erreichen kann, und fügt hinzu, dass die weitesten Gefässe ausnahmslos kurzgliedrige Tüpfelgefässe seien [1]). Ich selbst fand bei einer brasilianischen Malpighiacee Stigmaphyllum acuminatum die weitesten Gefässe 0,5 mm, bei der Euphorbiacee Fragariopsis scandens 0,5 mm, bei einer brasilianischen Cissus-Art 0,55 mm, bei einer brasilianischen Ipomoea und Mucuna (wahrscheinlich altissima), einer Papilionacee, die grösste Weite, die bisher wohl beobachtet wurde, nämlich 0,6 mm. Es handelte sich in allen diesen Fällen, wie bei de Bary, um kurzgliedrige Tüpfelgefässe.

de Bary hält es für möglich, dass die Länge der Gefässe derjenigen der ganzen Pflanze gleichkomme. Diese Annahme gilt nur für vereinzelte Fälle und einzelne Gefässe. Die grosse Zahl der Gefässe hat begrenzte Länge, welche bei Holzgewächsen weit hinter deren Gesammthöhe zurücksteht. Die anatomische Untersuchung führte uns in den Gefässen aller Holzgewächse einzelne nicht durchbrochene Scheidewände vor, wenn es auch manchmal galt, längere Zeit nach denselben zu suchen. Die directen Versuche die Länge der Gefässe zu bestimmen, führte ich mit Quecksilber aus. Der obere Querschnitt des zu untersuchenden Stammstückes wurde durch einen entsprechend weiten Kautschuckschlauch mit einem Glasrohr in Verbindung gebracht, das oben in einen weiten Trichter mündete. Es wurde Sorge dafür getragen, dass der auf die obere Schnittfläche lastende Druck während der ganzen Zeit des Versuches constant blieb. Eine erste Reihe von Versuchen führte ich bei 20 cm, eine andere bei 40 cm Quecksilberdruck aus. Der Druck von 20 cm genügte, wie durch directe Beobachtung fest-

1) Vergl. Anat., p. 176.

gestellt wurde, um die capillare Depression von Gefässen bis 0,063 mm lichten Durchmesser hinab zu überwinden, während bei 40 cm Quecksilberdruck selbst Gefässe von 0,031 bis 0,025 mm lichten Durchmesser sich injicirt zeigten[1]). Da ich mit nur einer Ausnahme Objecte mit sehr weiten, bis 0,2 mm messenden Gefässen zur Beobachtung wählte, so lässt sich annehmen, dass ich in der That die volle Länge dieser weiten Gefässe in meinen Versuchen erhielt. In Wirklichkeit giebt freilich auch bei 40 cm Quecksilberdruck der Durchfluss des Quecksilbers durch ein bestimmtes Gefäss nur an, dass auf der betreffenden Strecke keine verengte Stelle unter 0,025 cm vorhanden sei. Die capillare Depression engerer Stellen, beziehungsweise engerer Oeffnungen in Scheidewänden, würde der betreffende Quecksilberdruck nicht bewältigen. Man kann andererseits annehmen, die Wirkung der in ein Gefäss bereits eingedrungenen Quecksilbersäule summire sich zu der über dem Querschnitte befindlichen, und bringe so einen höheren Druck hervor, befähigt den Widerstand auch engerer Oeffnungen zu überwinden. Bis zu welchem Maasse das aber der Fall ist, entzieht sich einer bestimmten Berechnung. — Im Allgemeinen liess ich das Quecksilber durch die Versuchsobjecte in der Richtung des normalen Wasseraufstiegs durchfliessen, stellte im Uebrigen aber fest, dass eine Umkehrung des Objects nichts an den Ergebnissen der Versuche änderte. — Ich wartete bei jedem einzelnen Versuche mindestens zehn Minuten, um das Resultat zu notiren. Zu Beginn einer Versuchsreihe mit besonders langen Stammabschnitten wurde auch wohl die Notirung erst nach einer doppelt, ja dreifach so langen Zeit vorgenommen. — Untersucht wurden bei 20 bis 40 cm Quecksilberdruck mehrere Eichen, Wistaria, Vitis und Aristolochia, bei nur 40 cm Quecksilberdruck Ficus elastica. Zu der ersten Serie von Versuchen, bei niedrigerem Quecksilberdruck, veranlasste mich die Erwägung, dass ein höherer Druck eventuell Sprengungen

---

1) Die Werthe für capillare Depression des Quecksilbers steigen bei abnehmendem Durchmesser des Capillarrohrs den bisherigen Erfahrungen nach so unregelmässig (vergl. die Tabelle 15, p. 364 in Kohlrausch, Leitfaden der practischen Physik, VI. Aufl., 1887), dass es mir geboten schien, diesen Werth für die in Betracht kommenden Untersuchungsobjecte rein empirisch zu bestimmen.

geschlossener Querwände veranlassen könnte. Eine solche Befürchtung erwies sich jedoch, wie Controlversuche und die directe anatomische Untersuchung lehrten, selbst für den Druck von 40 cm Quecksilber als unbegründet.

Ich beginne mit den Versuchen, die bei 20 cm Quecksilberdruck ausgeführt wurden.

Drei Species von Eichen ergaben im Wesentlichen dieselben Resultate. Ich stellte, da ich die gefundenen Werthe nicht erwartete, den ersten Versuch mit einem relativ kurzen Aststück von Quercus rubra an. Dieses Stück war 1,5 m lang und ca. 3 cm dick. Kaum begann ich das Quecksilber in den Trichter zu giessen, so trat dasselbe auch schon aus der unteren Schnittfläche hervor. Es tropfte aus 30 Gefässen. Als das Aststück auf 1 m zurückgeschnitten wurde, zeigten sich 54 bis 56 Gefässe durchlässig. Aus einem anderen etwas schwächeren, 1 m langen Aststück von Quercus pedunculata trat das Quecksilber bei 1 m Länge aus 35, bei 0,5 m Länge aus mehr als 100 Gefässen hervor. — Jetzt wurde ein 3,6 m langes, am Grunde 5 cm dickes Aststück von Quercus pedunculata in Untersuchung genommen; das Quecksilber tropfte, trotz dieser bedeutenden Länge, aus 8 Gefässen am unteren Querschnitt in rascher Aufeinanderfolge ab. — Das längste Aststück, das ich überhaupt erlangen konnte, war 4 m lang, an der Basis 6 cm dick und stammte von Quercus Cerris. Auch jetzt trat das Quecksilber aus 7 Gefässen hervor. Als der Ast auf 3,5 m zurückgeschnitten wurde, tropften 9, bei 3 m 12, bei 2,5 m zahlreiche Gefässe. Die durchlässigen Gefässe waren ganz vorwiegend in der Peripherie des Holzkörpers vertheilt. — Aus diesen Versuchen folgt, dass die Länge einzelner Gefässe bei den Eichen wohl der ganzen Stammlänge gleichkommen könnte. Die Zahl so langer Gefässe ist aber nur gering. Gefässe von 2 m Länge sind bei der Eiche hingegen schon zahlreich.

Bei Robinia Pseudacacia trat aus einem 2 m langen, 3 cm dicken Aststück Quecksilber erst hervor, als dasselbe auf 1,18 zurückgeschnitten wurde, und zwar gleichzeitig aus 4 Gefässen. Bei 1 m Länge stieg die Zahl der bei dem angewandten Druck durchlässigen Gefässe auf 9, bei 50 cm auf 38, bei 25 cm auf 57.

Von Wistaria wurden 1 bis 2 cm dicke Stammstücke zu den Versuchen benutzt. — Ein frischer, 1,75 m langer, aus 7 Internodien aufgebauter Spross von Glycine zeigte sich für 7,

annähernd gleichmässig in der Peripherie des Holzes vertheilte Gefässe durchlässig. — Ein durch einstündiges Erhitzen in Wasser von 90° C getödteter, dann an der Luft getrockneter, 3,5 m langer, von 47 Internodien gebildeter Spross liess Quecksilber erst durch, als er bis auf 2,5 m gekürzt worden. Es begann alsdann das Quecksilber ziemlich rasch aus 4 Gefässen zu tropfen. Bei 2 m Länge zeigten sich 9 Gefässe durchlässig; aus einzelnen derselben strömte das Quecksilber rasch hervor. — Ein anderer, gleich behandelter Spross ergab annähernd dasselbe Resultat. — Ein frisches, sehr langes Stammstück musste bis auf 3 m zurückgeschnitten werden, worauf erst das Quecksilber aus 3 Gefässen hervortrat. Bei 2,5 m tropften 11, bei 2 m 18, bei 1,5 m 27 bis 29 Gefässe. Die Gefässe der Wistaria werden somit zum Theil recht lang, doch kaum über 3 m.

Ein ebenfalls durch einstündiges Erhitzen in Wasser von 90° C getödteter, dann an der Luft getrockneter, 1,2 cm dicker Spross von Vitis labrusca liess, als er auf 2,2 m gekürzt wurde, das Quecksilber aus 3 Gefässen, die auf derselben Holzseite lagen, hervorfliessen.

Ein ebenso behandelter, ca. 1,5 cm dicker, 2,5 m langer, von 15 Internodien gebildeter Spross von Aristolochia Sipho liess das Quecksilber durch 14 Gefässe treten, die über die verschiedenen Jahresringe gleichmässig vertheilt waren. Nur aus zwei dieser Gefässe floss das Quecksilber rascher ab. — Ein anderer ebensolcher, 2,1 m langer Spross liess das Quecksilber aus zahlreichen Gefässen hervortreten. — Ein 5 m langes, frisches Stammstück, das längste, das ich erlangen konnte, zeigte sich für 5 Gefässe durchlässig. Aus 2 derselben trat das Quecksilber gleich zu Beginn des Versuches vor, aus den anderen erst nach längerem Warten. Bei 4,5 m tropfte das Quecksilber aus 8, bei 4 m aus 20, bei 3,5 m aus 25 Gefässen. Als der Spross bis auf 3 m Länge zurückgeschnitten wurde, liess sich die Zahl der durchlässigen Gefässe nicht mehr bestimmen. Bei Aristolochia giebt es somit einzelne Gefässe, deren Länge 5 m vielleicht noch um ein Bedeutendes übersteigt. Sehr zahlreiche Gefässe erreichen 3 m.

Auch bei 40 cm Quecksilberdruck liess ein 3 m langes, 5 cm dickes Aststück von Robinia Quecksilber nicht durchfliessen. Erst als das Aststück auf 2 m zurückgeschnitten

wurde, tropften 2 Gefässe, bei 1,5 m 10, bei 1 m eine grosse Zahl. Da dieses Aststück doppelt so stark als das erste, bei 20 cm versuchte, war, so decken sich die Ergebnisse annähernd. Robinia scheint somit nur wenige Gefässe zu besitzen, die länger als 1,5 m werden, eine relativ grosse Gefässzahl erreichen 1 m. Dass die durchlässigen Gefässe in der Peripherie des Holzkörpers vertheilt sind, versteht sich auf Grund anatomischer Erfahrungen von selbst.

Wistaria, 1,95 m lang, zuvor durch längeres Erhitzen in Wasser getödtet und getrocknet, liess bei 20 cm Quecksilber durch 5, bei 40 cm Quecksilber durch 13 Gefässe das Quecksilber treten. Ein frisches, über 5 m langes Stück liess bei 40 cm Quecksilberdruck kein Quecksilber durch. Bei 3,6 m war bei 20 cm Quecksilber kein, bei 40 cm 1 Gefäss wegbar. Bei 3,5 m Länge und 40 cm Druck tropfte das Quecksilber aus 2 Gefässen, bei 3,25 m aus 3, bei 3 m aus 5, bei 2,75 m aus 5, bei 2,5 m aus 5, bei 2,25 m aus 6, bei 2 m aus 6, bei 1,75 m aus 12, bei 1,5 m aus 14, bei 1,25 m aus 26, bei 1 m aus unzählbaren Gefässen. Die bei 40 cm Quecksilberdruck angestellten Versuche decken sich somit mit den bei 20 cm angestellten und ergeben für die meisten der weiten Gefässe eine Länge von annähernd 1 m.

Bei Ficus elastica [1]) halten sich die Gefässe vorwiegend um 0,13 mm Durchmesser, im Extrem erreichen sie 0,16 mm. Der Milchsaft stört ausserdem das Experiment. Ich suchte immerhin die Gefässlänge zu bestimmen, weil diese Bestimmung mir von besonderem Interesse bei einem Holze erschien, das als Wasserbahn eben nur diese, immerhin noch weit zu nennenden, relativ wenig zahlreichen Gefässe besitzt. Ich liess die Milch aus den Querschnittflächen nach Möglichkeit unter Wasser auslaufen, wusch dieselben sorgfältig aus, durchmusterte die Gefässöffnungen bei entsprechender Vergrösserung, um festzustellen, dass sie nicht verstopft seien, und liess dann erst den Quecksilberdruck von 40 cm einwirken. Sechs Versuche ergaben annähernd das gleiche Resultat, ich greife daher nur eine Versuchsreihe heraus. Das 1,10 m lange, 22 mm dicke Aststück, das seinen Blattnarben nach, aus 21 Internodien entstanden war, liess kein Quecksilber durch, letzteres trat erst, und zwar annähernd

1) Vergl. auch p. 204.

gleichzeitig aus drei Gefässen, hervor, als durch fortgesetztes Abtragen das Aststück auf 66 cm gekürzt wurde und nur noch 13 Internodien aufzuweisen hatte. Auch bei 60 cm Länge traten Quecksilbertröpfchen, wenn auch in etwas rascherem Tempo, nur aus denselben drei Gefässen hervor. Bei einer Länge von 54 cm stieg die Zahl der das Quecksilber durchlassenden Gefässe auf 6, blieb auch so bei 50 cm. Bei 45 cm Länge, respective 9 Internodien, tropfte das Quecksilber durch 17 Gefässe ab. Bei 30 cm aus ca. 40 Gefässen; bei 15 cm aus mehr als 80. Bei weiterer Verkürzung des Aststückes waren die durchlässigen Gefässe nicht mehr zu zählen. — Es zeigte sich somit, dass auch bei Ficus elastica einzelne Gefässe die nicht unansehnliche Länge von 66 cm erreichen können; eine immerhin noch sehr geringe Zahl derselben wird ca. 30 cm, eine namhaftere Zahl ca. 15 cm lang; die Menge der 10 cm langen Gefässe ist schon als gross zu bezeichnen.

Die in jedem Einzelfall angegebene Zahl durchlässiger Gefässe muss in allen Versuchen zu klein ausgefallen sein, da die Querschnitte durch nur eine Minderzahl von Gefässen jedesmal gegen ihr Ende getroffen haben können.

Die Folgen der Rinden- und Holzringelung für die Wasserleitung im Stamme.

Dass Rindenringelungen [1]) von Holzgewächsen längere Zeit vertragen werden können, weiss man bereits lange. So giebt schon J. Ray [2]) an, dass eine Stechpalme, der ein Ringstück der Rinde von einer Hand Breite mit Entblössung des Holzes genommen wurde, noch mehrere Jahre lebte. Daraus glaubte er auch bereits schliessen zu müssen, dass das Holz vornehm-

1) Um die sonst sich nothwendig machenden Wiederholungen oder Umschreibungen zu vermeiden, werde ich in Folgendem Ringelungen, welche nur die Rinde betreffen und somit nur bis zum Cambium reichen, als Rindenringelungen von den Holzringelungen, die mehr oder weniger tief in den Holzkörper reichen, unterscheiden.

2) Hist. plant., T. I, p. 9.

lich dem Säfteaufstieg diene. Dieselbe Erfahrung mit der Rindenringelung machte Malpighi[1]) an Eichen, Weiden und anderen Bäumen, und musste so die Einsicht gewinnen, dass der Nahrungssaft auch noch andere Wege als durch Bast und Rinde einschlage.

Andererseits lehrten Versuche, dass eine Holzringelung, bis auf das Kernholz von Kernbäumen geführt, die höher gelegenen Theile tödtet, während Splinthölzer selbst sehr tief in den Holzkörper reichende Ringschnitte vertragen. Bei Rhus typhinum hat aber schon Rindenringelung allein, wie Dutrochet[2]) fand, den fast unmittelbaren Tod des höher gelegenen Stammtheils zur Folge, weil der Splint so dünn ist, dass er unter dieser Operation leidet. Das giebt Dutrochet ganz richtig an und hebt zugleich hervor, dass bei Bäumen mit dickem Splint nur die äusserste Schicht desselben nach der Entrindung austrockne, die Saftleitung daher durch die tiefer gelegenen weiter besorgt werden könne.

Alles natürliche, stark gefärbte Kernholz, das der Akazie, der Maulbeere, der Rüster, der Eiche, giebt Th. Hartig[3]) an, besitzt keine Leitungsfähigkeit für die durch die Wurzeln aufgenommene Flüssigkeit. Das Stammholz der Buche, Hainbuche, Birke, Weide, Pappel, Linde, Rosskastanie ist, falls gesund, bis zum Marke leitungsfähig. Wird die stets sehr schmale Splintschicht des Holzkörpers bei der Akazie durchschnitten, so welken die Blätter, selbst kräftiger Pflanzen, schon nach wenigen Stunden; sie welken selbst dann, wenn die Operation bei Regenwetter vorgenommen wird. Buchen, Hainbuchen, Birken, Linden von 6 bis 8 Zoll Stammdicke, die im Frühjahr bis 1 bis 2 Zoll vom Marke in gleicher Weise eingeschnitten wurden, zeigten in demselben Jahre kein abweichendes Verhalten ihrer Belaubung von der Belaubung gesunder Bäume. — In einem in den Berichten der Deutschen botanischen Gesellschaft 1888 veröffentlichten Aufsatz[4]) fasst Robert Hartig die Resultate seiner Holzringelungsversuche an

---

1) Anat. plant., T. I, p. 159.

2) Mémoires pour servir à l'histoire anatomique et physiologique des végétaux, 1837, p. 193.

3) Ueber das Verhalten der Blätter zur atmosphärischen Feuchtigkeit, Bot. Ztg. 1865, p. 238.

4) Ueber die Wasserleitung im Spätholze der Bäume, p. 222.

Nadelhölzern dahin zusammen: „dass dann, wenn der Sägeschnitt bis in den trockenen Kern vorgedrungen war, die Bäume in kurzer Zeit dürr wurden, dass dagegen solche Bäume, bei denen eine geringe Zone des inneren Splintes nicht vom Sägeschnitt getroffen war, lange Zeit sich am Leben erhielten". Die Versuche wurden an 6 Fichten, 4 Kiefern und 3 Tannen im Alter von 100 bis 130 Jahren ausgeführt. Eine 50-jährige Eiche, die auf 2 cm Tiefe eingeschnitten wurde, so dass der Ringschnitt bis zum braunen Kern reichte, vertrocknete schon nach einigen Tagen vollständig. Eine andere ebenfalls 50-jährige Eiche, welche dieselbe Behandlung erfuhr, deren etwas breiterer Splint aber nicht völlig durchschnitten war, vertrocknete hingegen erst nach einigen Wochen. Anders verhielten sich die Splintbäume. Zwei Rothbuchen im Alter von je 150 Jahren, mit einem Durchmesser von ca. 32 cm, die bis auf 8 cm Tiefe eingeschnitten wurden, zeigten sich noch belaubt nach anderthalb Jahren. Auch zwei je 35-jährige Birken von ca. 15 cm Durchmesser, die 3,5 cm tief eingeschnitten wurden, liessen nach vier Wochen einen Einfluss dieser Operation nicht erkennen. Während somit bei Kernbäumen eine Durchschneidung des Splintes die Wasserleitung unterbrach, dauerte letztere bei Splintbäumen auch nach Ausführung eines tiefen Ringschnittes fort, weil eben noch ein innerer, undurchschnittener Splint übrig blieb und das Wasser nach oben zu transportiren vermochte. Damit waren die Resultate der Robert Hartig'schen Versuche mit denjenigen früherer Forscher in Einklang gebracht und einige widersprechende Angaben seiner früheren Publicationen [1]) gehoben. Da die Holzringelungen an Coniferen meist erst nach längerer Zeit ein Welken der grünen Triebe herbeiführen [2]), so dürften, ihres raschen Erfolges wegen, die Ergebnisse von Versuchen nicht ohne Interesse sein, die Herr Dr. Dietrich Brandis im Kottenforst bei Bonn an Lärchen ausführte. Herr Dr. Brandis hatte die Güte, mir seine diesbezüglichen Aufzeichnungen mitzutheilen und mir die Veröffentlichung derselben zu gestatten. Es wurde am 6. Juli mit der Säge an drei 45- bis 48-jährigen Lärchen ein

---

1) Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut zu München, II, p. 28.

2) Untersuchungen aus dem forstbotanischen Institut zu München, III, p. 49.

Ringschnitt 5 bis 6 cm tief bis in das Kernholz geführt und dieser Einschnitt mit der Axt schräg erweitert. Am 13. Juli begann das Laub bereits welk zu werden, am 18. desselben Monats, also 12 Tage nach der Operation, erschien es schon gelb und fast trocken. Als am 13. October der Ort wieder aufgesucht wurde, zeigten sich alle drei Bäume ganz todt, ihre Nadeln sämmtlich abgefallen, während nebenstehende Lärchen noch frische, grüne Nadeln trugen. Das Kernholz dieser drei Lärchen war dunkelroth gefärbt, und es trat aus der Schnittfläche viel Harz hervor und zwar ganz vorwiegend aus dem Splinte. Die Untersuchung der mit der Axt am 5. Juli ausgeschlagenen Holzstücke, die mir Herr Dr. Brandis freundlichst übergab, zeigte, dass in der That der Ringschnitt bis auf solches Holz geführt worden war, welches keine lebendigen Elemente mehr enthielt.

Eine Robinia von 16 cm Durchmesser, deren Schaft ich des Vormittags im Juli 1888 bis auf das Kernholz kreisförmig einsägen liess, wurde welk am Nachmittag desselben Tages.

Entgegen solchen Erfahrungen berichtete Lindley in Gardner's Chronicle von 1852 [1]) über einen Fall, in welchem der Ast eines alten Apfelbaumes jahrelang am Leben blieb, ungeachtet die Verbindung desselben mit dem Stamme auf einen möglichst geringen Theil von Kernholz reducirt worden war, Splint und Rinde aber vollständig fehlten. Da diese Angabe nicht durch eine entsprechende mikroskopische Untersuchung gestützt wurde, im Widerspruch aber mit wohlbegründeten Erfahrungen steht, so konnte sie von vornherein als verdächtig gelten. Ich opferte immerhin einen Kirschbaum, um objective Sicherheit zu erlangen, dass auch das Kernholz der Rosifloren sich nicht anders als dasjenige sonstiger Kernbäume verhalte. Dieser Kirschbaum (Prunus avium) hatte im Schaft, 1 m über dem Boden, einen Durchmesser von 25 cm aufzuweisen, war kräftig entwickelt, gesund und trug alljährlich zahlreiche Früchte. Da er einerseits aber in einer für Coniferen bestimmten Abtheilung des botanischen Gartens stand und thatsächlich das Aufkommen mehrerer Juniperusstämme hinderte, andererseits „unbefugte Gäste" anlockte, so liess sich sein Verlust verschmerzen, so wenig Wahrscheinlichkeit auch von vornherein für die Annahme bestand,

1) p. 726.

dass der Versuch anders als bei anderen Kernbäumen ausfallen würde. Zunächst wurden dem Schafte in 1 m Höhe 4, um je 90° auseinanderstehende Bohrspäne mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer entnommen und constatirt, dass der Kern annähernd gleichmässig bei ca. 5 cm Tiefe im ganzen Umkreis begann. Der Ringschnitt wurde hierauf 5,5 cm tief geführt, mit Hilfe der Säge auf 0,5 cm Höhe erweitert. Diesen Versuch führte ich Mitte Juli aus bei klarem Wetter und einer Temperatur, die zwischen 16 und 24° C im Schatten schwankte. Schon nach 24 Stunden begann der Baum zu welken und zeigte selbst auf Entfernung ein verändertes Aussehen. Nach 48 Stunden war das Laub ganz welk; nach abermals 12 Stunden begannen die Blätter brüchig zu werden, worauf ich den Baum fällen liess. Er war 32 Jahre alt und zählte 14 Jahresringe im Splint. Der Uebergang von Splint zu Kern vollzog sich sehr rasch, und reichte der Kreisschnitt überall bis über die innere Grenze der lebendigen Elemente in den Holzkörper hinein. Ein mittlerer Holzcylinder von 14 cm Durchmesser stand dem Baume nach Ausführung des Ringschnittes noch zur Verfügung, ein Holzcylinder, der bei jedem Splintbaume von gleichem Durchmesser mehr als ausgereicht hätte, um der Laubkrone das nöthige Wasser zu liefern.

Nicht zutreffender sind die Angaben von Rohrbach [1]), soweit als sie dem Kernholze eine Betheiligung an der Wasserleitung zusprechen. Er stellt zunächst für eine Reihe von Kernhölzern fest, dass nur ihr Splint leitet; bei anderen glaubt er aber, dass auch der Kern in beschränktem Maasse an dieser Leitung betheiligt sei. Da aber Rohrbach zugleich vielfach für solche Bäume anführt, dass ihr „Kern“ mehr oder weniger stärkehaltig gewesen sei, so hat er eben die richtige Grenze zwischen Splint und Kernholz nicht gezogen. Denn ein echter Kern führt keine lebendigen Zellen und somit auch keine Stärke mehr. Allenfalls können wohl Stärkekörner in einzelnen Zellen des Kernholzes, in Kernstoffe eingeschlossen und so conservirt, vorkommen, doch sind solche Zellen ganz vereinzelt, fehlen für gewöhnlich vollständig, und hätten somit in den

---

1) Ueber die Wasserleitungsfähigkeit des Kernholzes, Zeitschrift für Naturwissenschaften, Halle, 1885, Bd. LVIII, p. 319.

Rohrbach'schen Bestimmungen schwerlich eine Rolle spielen können.

Wenn aber auch alle maassgebenden Berichte sich in der Behauptung decken, dass Kernholz Wasser nicht leiten könne, so geht aus denselben doch noch nicht hervor, dass nur lebendiger Splint dies thun könne. Es wird nur ganz allgemein dem Splint, als solchem, diese Fähigkeit zugesprochen, ohne weitere Berücksichtigung der Frage, ob zum Begriff des Splintes lebendige Elemente gehören. Ja es existiren Angaben von Th. Hartig[1]), aus welchen gefolgert werden müsste, dass auch todter Splint noch leitungsfähig sei. So sollten mehrere Weymouthkiefern, die Th. Hartig bis auf den Holzkörper ringeln liess und die, sonstigen Erfahrungen gemäss, am Leben blieben und alljährlich neue Triebe bildeten, nach vier Jahren an der geringelten Stelle lufttrocken gewesen sein. Es giebt wenigstens Th. Hartig an, dass diese Weymouthkiefern, nach vier Jahren gefällt und auf ihren Wassergehalt untersucht, in ihrem Holzkörper, innerhalb des Ringelstückes, nicht mehr als den Wassergehalt des lufttrockenen Holzes enthalten hätten. — Eine in Brusthöhe 8 cm messende Linde wurde von Th. Hartig[2]) geringelt, indem er ihr Rinde und Bast in einer 1 cm hohen Ringzone entnahm. Nach neun Jahren trug diese Linde noch Laub, Blüthen und Früchte mit keimfähigem Samen, sie fructificirte sogar reichlicher als die daneben stehenden nicht geringelten Bäume. Im Frühjahr des zehnten Jahres brach vor dem Knospenaustrieb der Baum, bei ruhigem Wetter, in der Fläche der Ringwunde ab, und Hartig fand das Holz der Bruchfläche so weich, missfarbig und zersetzt bis zum Mark, dass er meint, ein Absterben des Holzes bis zur Mitte der Querfläche habe unzweifelhaft schon seit Jahren erfolgen müssen. Dem schon eingetretenen Tode des ganzen in der Ringfläche liegenden Schafttheils ungeachtet, habe dennoch, durch diesen hindurch, eine Saftleitung stattgefunden und seien selbst noch die Knospen des abgebrochenen Schafttheils vollkommen grün und saftreich gewesen. Der Th. Hartig'schen Angabe lässt sich der Trécul'sche Bericht[3]) entgegenhalten, über eine Linde, die in

1) Bot. Ztg. 1861, p. 21.

1) Bot. Ztg. 1863, p. 286.

3) De l'influence des décortications annulaires sur la végétation des arbres dicotylédonés, Ann. de sc. nat., Bot., IV. sér., T. III, 1855, p. 343.

Fontainebleau erwachsen war und durch ihr Verhalten Aufsehen erregte. Diese Linde, gegen 1780 gepflanzt, war im Jahre 1810 ihrer Rinde beraubt worden. Der Baum lebte noch im Jahre 1853, sein zugeschnittener Gipfel erhob sich auf 5 bis 6 m. Der Durchmesser des Stammes über der Wunde betrug 20 cm, unter derselben 18 cm. Die in Zerstörung begriffene Partie war an der Nordseite 57 cm über dem Boden gelegen und zeigte sich 32 cm lang; an der Südseite begann sie an der Erdoberfläche und stieg an bis auf 1,5 m. Der von seiner Rinde entblösste Holzkörper war so wurmstichig und ausgetrocknet, so reducirt in der mittleren desorganisirten Partie, dass man ihn dort für ganz todt hätte halten mögen. An der schmalsten Stelle maass er von Osten nach Westen nur 10, von Süden nach Norden nur 5,5 cm. Der Baum wurde durch künstliche Stützen am Umbrechen gehindert. Trotz des so schmalen Zusammenhangs zwischen dem oberen und dem unteren Theile des Baumes hatte die Vegetation desselben nicht gelitten, er zeigte sich mit Blättern und Blüthen bedeckt. Die Untersuchung der schmalsten Stelle lehrte, dass sie in der Mitte noch lebendiges Holz enthielt, dieser lebendige Theil maass aber nur noch 2,5 cm in der Dicke. Trécul giebt diesen Theil als lebendig an, indem er constatirt, dass er ganz das Aussehen von jungem, kräftigem Holz gehabt habe und voll von Saft gewesen sei. Durch eine 2,5 cm dicke Holzpartie musste somit, nach Trécul, die ganze, aus dem Boden durch die Wurzeln geschöpfte Flüssigkeitsmenge gehen, um in die oberen Theile des Baumes zu gelangen. Der untere Theil des Stammes war an seiner Basis mit Stockausschlag bedeckt, und dieser mochte, nach Trécul, zur Erhaltung des Lebens in dem unteren Theile des Stammes beigetragen haben. Der Baum ist im Jahre 1854 abgestorben.

Mit wie geringen Leitungsbahnen die Linde auskommen kann, lehrte mich die Untersuchung eines starken Astes von Tilia argentea, der einem Exemplar dieses Baumes im hiesigen botanischen Garten entnommen wurde. Der Ast fiel mir durch das kranke Aussehen an seinem Grunde auf, während er im Gegensatz hierzu voll und kräftig belaubt war. Das veranlasste mich, die Sache näher zu prüfen. Der Ast zeigte eine Länge von über 4 m und reiche Verzweigung. An seiner Insertionsstelle am Schafte war er trotzdem, bis auf einen kleinen Rest,

abgestorben. Dort hatte er einen Durchmesser von 7,5 cm und 25 Jahresringe aufzuweisen. Alles Gewebe war aber todt bis auf eine peripherische, 1,2 cm tiefe und 2,5 cm breite Stelle, welche nach aussen ein wenig vorsprang. An dieser Stelle war der Ast in den beiden letzten Jahren allein in die Dicke gewachsen, das übrige Gewebe des Holzkörpers und der Rinde lebte somit schon seit zwei Jahren nicht mehr. Diese beiden letzten Zuwachszonen innerhalb des lebendigen Abschnittes zeigten sich wesentlich stärker als die nach innen zu folgenden entwickelt. Nach oben zu erweiterte sich die lebendige Stelle des Astes rasch, und 30 cm oberhalb der Insertion bestand der ganze Querschnitt bereits aus lebendigem Holz und Bast. Das Absterben war von einem 25 cm über der Insertionsstelle entspringenden, abgebrochenen Seitenzweige ausgegangen. Die schmale Durchgangsstelle aus lebendigem Gewebe genügte aber, um den Transpirationsbedarf des vier Meter langen, stattlich belaubten, kräftig und normal aussehenden Astes zu decken.

Eine andere Erfahrung ähnlicher Art hatte ich Gelegenheit mit einer Rothbuche zu machen, die nebenan in Abbildung vorgeführt wird. Diese Rothbuche steht auf dem Venusberge bei Bonn und weist, wie dort viele ihres Gleichen, zahlreiche Verwachsungen der Aeste auf. Diese Verwachsungen sind die Folge eines fortgesetzten Zurückschneidens, welches eine reiche Zweigbildung aus dem Schaft und damit auch ein häufiges Aufeinanderstossen der Zweige veranlasst hatte. Ein kräftiger Seitenzweig, der rechts in dem Bilde zur Darstellung gelangte, zeigte sich oberhalb seiner Ursprungsstelle mit einem höher entspringenden verwachsen. Dieser höher entspringende Ast blieb in seiner weiteren Entwickelung zurück und schien thatsächlich nichts mehr als eine horizontale Stütze zu bilden, welche den kräftigeren Ast mit dem Hauptstamm verband. Eine Narbe an der oberen Seite dieser Stütze weist darauf hin, dass ein Theil des Gewebes derselben bereits gelitten hat. Ende Juni 1889 liess ich nun den stärkeren Ast dicht oberhalb seiner Ursprungsstelle an der in der Figur kenntlichen und mit einem Stern bezeichneten Stelle quer durchsägen und sorgte durch einen entsprechenden Keil dafür, dass die getrennten Theile gesondert blieben. Der ganze stark belaubte 8 m hohe, an der durchsägten Stelle 36 cm im Umfang messende Ast war hiermit für seine Zufuhr auf den verhältnissmässig schwachen,

nicht mehr intacten, nur 23 cm im Umfang messenden Querast angewiesen. Trotzdem die Operation bei trockenem Wetter ausgeführt wurde, welkten die Blätter des durchsägten



Astes nicht, ja sie zeigten keinerlei Veränderung und wurden im Spätherbst auch nicht früher als diejenigen der anderen Aeste dieses Baumes abgeworfen. Ebenso belaubten sie sich

zu gleicher Zeit wie jene im Frühjahr 1890 und blieben ihnen auch im Laufe des betreffenden Jahres gleich. Das Bild dieses Baumes, dessen Veröffentlichung sicher Interesse bietet, hatte Herr Dr. H. Schenck die Güte auf meine Bitte hin anzufertigen.

Es frug sich nach alledem, ob es denn wirklich, in irgend welchem Falle, völlig abgestorbene Splintmassen gewesen sein sollten, welche die Wasserleitung vermittelten. Die Aussicht, auf solche todte, leitende Holzmassen zu stossen, musste besonders gross bei solchen Bäumen werden, die vor langer Zeit der Rindenringelung unterworfen worden waren, sich trotzdem am Leben befanden. Denn es steht fest, dass der durch Entfernung der Rinde blosgelegte, dem Einfluss der Atmosphärilien ausgesetzte Holzkörper alsbald zu leiden beginnt, und dass diese schädigenden Einflüsse den Tod desselben und auch des ganzen über demselben befindlichen Stammtheiles bewirkt, eventuell auch der unterliegenden Stammtheile und der Wurzeln, falls diese letzteren Theile nicht durch unter der Ringwunde befindliche belaubte Zweige ernährt werden.

Dass der Tod der über der Rindenringelung befindlichen Stammtheile die Folge des Absterbens der entblösten Holzpartie sein kann, stellte ich zunächst an zwei Eichen fest, die 1887 im Juni streckenweise im Umkreis von ihrer Rinde entblöst worden waren. Es handelte sich hierbei um Waldfrevel, behufs Gewinnung der Rinde, welche dem entsprechend in ziemlich grossen Partien von den beiden Bäumen abgenommen worden war. Diese Bäume fielen mir im Jahre nach der Ringelung auf und wurden mir zur weiteren Beobachtung von ihrem Besitzer überlassen. Der eine Baum war ca. 10 m hoch und in Brusthöhe ca. 25 cm dick, der andere ca. 8 m hoch und in Brusthöhe ca. 20 cm dick. Am Schafte des ersten Baumes war eine fast 1 m lange Strecke durch Entfernung der Rinde im Umkreis blosgelegt. Der untere Rand der Ringwunde war nur 20 cm von der Bodenfläche entfernt. Am zweiten Stamme fing die entblöste Stelle am Schafte 1,20 m über dem Boden an und erstreckte sich über eine 90 cm hohe Fläche. Ausserdem war ein starker Seitenast von 13 cm Durchmesser dicht über seiner Ansatzstelle auf eine Länge von 45 cm ebenso bis aufs Holz geringelt. — Im Jahre 1888 erschienen beide Bäume noch völlig normal belaubt. Im Frühjahr 1889 standen sie nur

wenig hinter ihren Nachbaren zurück und hatten im Juni, wie jene, einen Raupenfrass auszuhalten, der sie fast um ihr ganzes Laub brachte. Im Juli bedeckten sie sich, doch weniger kräftig als die Nachbarn, mit neuem Laub. Im Jahre 1890 trieb der stärkere Baum nicht mehr aus, hatte vielmehr sein altes todtes Laub behalten. An dem schwächeren Baum war der geringelte Ast, der unter einer doppelten Ringelung zu leiden hatte, ebenfalls ohne frisches Laub; die anderen Aeste, die nur unter dem Einfluss der einen Ringelung des Schaftes standen, hatten hingegen eine schwache Belaubung erhalten. Die Blätter waren aber nur spärlich vertreten, sie hatten auch bei weitem nicht ihre volle Grösse erreicht. — Die mikroskopische Untersuchung führte ich an Bohrspänen aus, die ich mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer verschiedenen Stellen dieser Bäume entnahm. Es ergab sich für den ersten Baum, dass der entblöste Holzkörper innerhalb der Ringelung auch im Splinte vollständig todt war. Der Inhalt der Markstrahl- und Holzparenchymzellen seines Splintes war gebräunt, eine, wenn auch unvollkommene, Verkernung desselben hatte stattgefunden. Diese Veränderungen innerhalb der geringelten Stelle hatten das Austreiben dieses Baumes unmöglich gemacht, ungeachtet derselbe, oberhalb der Ringwunde, noch viel Stärke führte. Dort war auch der Verkernungsprocess noch weit weniger fortgeschritten, eine grosse Anzahl der parenchymatischen Elemente des Holzkörpers noch am Leben, doch zahlreiche auch schon mit gebräuntem, deutlich abgestorbenem Zellkörper. — Bei dem zweiten Baume befanden sich innerhalb der unteren Ringelung die parenchymatischen Elemente des Splintes ungefähr in demjenigen Zustande, in welchem wir im ersten Baume die oberhalb der Ringwunde befindlichen angetroffen. Daher der Holzkörper in der geringelten Stelle noch einigermaassen seine Functionen vollziehen konnte. Innerhalb der zweiten Ringelung lagen die Verhältnisse nicht wesentlich anders und war es somit die Summirung schädigender Einflüsse, welche das Austreiben des betreffenden Zweiges ausgeschlossen hatten.

Das Absterben der über den Rindenringelungen gelegenen Stammtheile war somit in beiden Bäumen durch das Absterben der blosgelegten Holztheile veranlasst, wie sich das auch weiter durch den Umstand zeigte, dass unter der Ringelungsstelle

beide Stämme noch annähernd gesund waren und Bohrspäne von ziemlich normalem Verhalten ergaben. Namentlich war dies der Fall bei dem zweiten, höher geringelten Stamme, der unter der Wunde eine Anzahl Adventivsprosse getrieben hatte. — Ein Umstand nämlich, der auch vor dem vollen Absterben der blosgelegten Stammtheile den Tod des ganzen Stammes veranlassen kann, ist, wie R. Hartig hervorhebt [1]), eine mangelhafte Wasserzufuhr durch die Wurzel. In Folge der Rindenringelung am Stamme kann die Ernährung der Wurzeln, soweit unter der Ringwunde keine belaubten Zweige mehr liegen, nicht mehr erfolgen, und hören dieselben allmählich auf zu functioniren. Dieses muss besonders noch bei solchen Bäumen erfolgen, die jährlich neue Saugwurzeln bilden müssen, wie beispielsweise Kiefern und Fichten, während bei anderen Bäumen, wie beispielsweise Ahorn, Birken, Linden, die Wurzeln länger functionsfähig bleiben. Die Linde von Fontainebleau hätte auch nicht so lange am Leben bleiben können, wäre nicht der untere Stammtheil mit Stockausschlag bedeckt gewesen.

In Folge vielseitig eingezogener Erkundigungen gelang es mir, zu erfahren, dass im Riddagshäuser Forstgarten bei Braunschweig eine Kiefer noch am Leben sei, die Th. Hartig bis auf das Holz geringelt hatte. Herr Kammerrath L. W. Horn in Braunschweig, unter dessen Leitung jetzt der Forstgarten steht, hatte auf meine Bitte hin die grosse Güte, der geringelten Kiefer mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer 6 Bohrspäne entnehmen zu lassen und mir dieselben zuzusenden. Dieser Sendung war eine genaue Beschreibung des Baumes angeschlossen. Es ist ein Zwieselstamm, den Th. Hartig im Jahre 1871 an einem der beiden Gabelstämme ringelte. In Brusthöhe hatte der Baum jetzt etwa 60 cm Durchmesser erreicht; er gabelte sich in 4,5 m Höhe in zwei etwas ungleich starke Stämme. Der stärkere dieser Stämme wurde seinerzeit unterhalb des untersten der damals noch grünen Aeste, 7,8 m über dem Boden ringsum 30 cm hoch von der Rinde entblöst. Die Stärke des Stammes betrug an der entrindeten Stelle, von unten geschätzt, 40 cm. Der Wipfel des schwächeren Stammes ist wenig niedriger als derjenige des stärkeren, und beide Kronen bildeten zusammen eine zusammenhängende Wölbung. Schon im Jahre

1) Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 401.

1878 hatte die Benadelung des geringelten Stammes zwar nicht an Fülle, aber an Länge der einzelnen Nadelbüschel sichtlich verloren, und die Krone war deshalb bereits erheblich lichter als die des Nebenastes. Allmählich ist die Benadelung des geringelten Stammes spärlicher geworden, besonders in den letzten beiden Jahren, so dass an einem seiner unteren Seitenäste nur noch wenig Nadelbündel sich vorfanden. Die Krone des schwächeren ungeringelten Stammes war dagegen so frisch und kräftig wie die benachbarter Kiefernstämme. — Die Bohrspäne waren der Südwestseite des geringelten Stammes, an näher von mir bezeichneten Stellen entnommen. Da ich jedoch aus der Untersuchung jener Bohrspäne ein hinreichend vollständiges Bild von dem Zustand des ganzen Stammes nicht gewinnen konnte, richtete ich weiter an Herrn Kammerrath Horn die Bitte, den ganzen Stamm zum Zwecke der wissenschaftlichen Untersuchung opfern zu wollen. Herr Kammerrath Horn setzte sich hierauf mit Herrn Prof. R. Hartig in Verbindung, der ebenfalls den Wunsch geäussert hatte, diesen Stamm zu untersuchen, und die Folge war, dass ich alsbald durch Zusendung eines Stückes aus der einen Längshälfte des geringelten Stammes überrascht wurde. Diese Hälfte war derjenigen entgegengesetzt, welche die Bohrspäne geliefert hatte, und ergänzte somit vollkommen meine erste Untersuchung. Herrn Kammerrath Horn spreche ich aber für dies werthvolle Material und die grosse Zuvorkommenheit, mit der er es mir zur Verfügung stellte, meinen verbindlichsten Dank hiermit aus. — Alle übrigen Theile des Stammes erhielt Herr Prof. R. Hartig in München und beschrieb dieselben sehr eingehend in der Allgemeinen Forst- und Jagd-Zeitung 1889, p. 365. Ich werde noch wiederholt Gelegenheit haben, auf diesen Aufsatz zurückzukommen; hier soll er vornehmlich nur so weit herangezogen werden, als er die geringelte Stelle selbst behandelt.

Der geringelte Stammabschnitt hielt die Operation 18 Jahre aus und war, wie schon erwähnt wurde, nicht todt, vielmehr nur in Rückgang begriffen, als der Baum gefällt wurde. Dieses auffallend lange Ueberleben der Operation durch den geringelten Gabelstamm war hier durch den Umstand begünstigt, dass die Wurzeln von dem nicht geringelten Gabelstamme aus ernährt wurden. Eine störende Einschränkung oder gar ein Ausbleiben der Wasserzufuhr von der Wurzel aus brauchte somit nicht

einzutreten. R. Hartig fand das geringelte Stammstück dieser Zwieselkiefer in den äussersten 2 bis 3 Jahresringen völlig verharzt, und diese Schicht verhinderte seiner Ansicht nach das Vertrocknen und Verfaulen des entblösten Holzkörpers. Die Kernholzbildung, giebt er an, sei von innen so weit vorgeschritten gewesen, dass vom Kern bis zur Oberfläche des entrindeten Holzkörpers nur noch etwa 17 Jahresringe Splint sich befanden, von denen die äusseren verharzten Ringe noch in Abzug zu bringen waren. Dieser etwa 2 cm breite Splintring habe die Leitung des Wassers nach oben vermittelt, doch nicht in allen Theilen, da an verschiedenen Stellen der Splint von aussen nach innen bis zum Kern völlig verkient war. R. Hartig schätzte, dass an der Ringelungsstelle dieser Kiefer nur etwa zwei Dritttheile des Splintholzes leitungsfähig, ein Dritttheil völlig in Kien umgewandelt war [1]).

Die Längshälfte des Stammabschnittes, die Herr Kammerrath Horn mir zu senden die Güte hatte, war 1,30 m lang und trug die 30 cm hohe Ringelungsstelle in der Mitte. Der einzige Durchmesser, den ich zu bestimmen in der Lage war, betrug am oberen Ende des Stückes 42 cm, am unteren Ende 40,5 cm. Entsprechend den Angaben von R. Hartig fand ich, dass oberhalb der Ringwunde der Dickenzuwachs zunächst ein sehr energischer war, dann aber, jedenfalls in Folge sich steigernder Leitungsstörungen, innerhalb der geringelten Stelle, immer mehr zurückging. Der Stamm war an der Ringelungsstelle 62 Jahre alt, als die Operation vorgenommen wurde. Der Gesammtzuwachs oberhalb der Ringelung, 50 cm über dem oberen Wundrande gemessen, betrug hierauf im Mittel, dem mir zur Verfügung stehenden Abschnitte nach, 11 mm. In den drei auf die Ringelung folgenden Jahren wurden besonders starke Jahresringe gebildet. Das vierte und fünfte Jahr nach der Ringelung lieferte nur halb so breite Ringe wie das dritte. Im sechsten und siebenten Jahr nahm der Zuwachs, wohl in Folge günstiger Witterungsverhältnisse, wieder etwas zu. Das achte Jahr lieferte einen halb so starken Jahresring wie das siebente. Vom neunten Jahre an wurden endlich nur noch sehr schwache Jahresringe gebildet, im Mittel zu je zehn Tracheïden stark. Der geringelte Stamm war seit jener

1) l. c. p. 406.

Zeit in entschiedenem Rückgang begriffen. Der dem Zuwachs entsprechende Bast zeichnete sich durch auffallend viel Bastparenchym aus. Während letzteres bei Pinus sonst nur durch eine einfache bis doppelte Zellplatte vertreten ist, bildete es hier die Hauptmasse der secundären Rinde, die somit aus schmalen Siebröhrenbändern und starken Parenchymbändern zusammengesetzt erschien und in Folge dessen den jährlichen Zuwachs besonders deutlich markirte. Im Uebrigen fand ich die Elemente des Holzkörpers wie der Bastzone normal ausgestaltet; nur in unmittelbarer Nähe der Ringwunde, an der Ueberwallungsstelle, war Wundholz, durch bedeutende Kürze der Elemente, Reichthum an Holzparenchym und Harzgängen ausgezeichnet, gebildet worden. Wie auch R. Hartig bereits angegeben hat [1]), fällt der Jahresring, der im Ringelungsjahre oberhalb der Ringelungsstelle gebildet wurde, durch die Erscheinung auf, dass ihn eine Zone dicht einander genäherter Harzkanäle in zwei Theile sondert. „Diese Harzkanalzone ist so zusammenhängend", giebt R. Hartig an, „dass beim Spalten die Holzstücke an dieser Zone von selbst auseinanderfielen". Ich kann das bestätigen. „Die Frage, woher es kommt, dass die mit dem Ringelungsprocess verbundene Störung in der Abwärtsbewegung der Bildungsstoffe oberhalb der Ringelungsstelle zur Entstehung abnorm zahlreicher Harzkanäle in dem Cambiumgewebe führt, muss", schreibt R. Hartig, „leider zur Zeit noch unbeantwortet bleiben." Es handelt sich, meiner Auffassung nach, um eine Correlationserscheinung, die freilich ihrem Wesen nach uns ebenso unerklärt wie andere Reizerscheinungen erscheint. Diese Correlationserscheinung führt zur Bildung von Harz, das als Schutzmittel die Wunde decken, eventuell zur Verkernung der blosgelegten Holztheile dienen soll. — Unter der Ringelungsstelle hatte, den Angaben von R. Hartig gemäss, nur ein minimales Dickenwachsthum stattgefunden. Innerhalb des 50 cm langen, auf die eine Stammseite beschränkten Stückes, das ich allein untersuchen konnte, hatte der Zuwachs in dem auf die Ringelung folgenden Jahre noch annähernd normales Aussehen, zeichnete sich aber bereits durch die Dünnwandigkeit seiner Elemente, selbst auch der engen Spättracheïden aus. Die folgenden Jahresringe (Hartig hat im

1) l. c. p. 368.

Ganzen an einer etwas tiefer gelegenen Stelle 11 Jahresringe von zusammen 1,01 mm Breite gezählt [1])), fand ich nur noch höchst unvollkommen entwickelt, von sehr schmalen und kürzeren Tracheïden gebildet, auch durch grösseren Reichthum an Harzgängen ausgezeichnet. Die Jahresgrenzen liessen sich an diesem Zuwachs kaum mehr unterscheiden. Aehnliche Veränderungen, verbunden mit einem Kürzerwerden der Elemente und einer Bevorzugung des Bastparenchyms auf Kosten der Siebröhren, machte auch der Bast durch. Aller Zuwachs unterhalb der Ringwunde hatte aber seit Jahren aufgehört, und zeigten sich Rinde wie Holzkörper bis 30 cm abwärts unter der Ringwunde, erstere vollständig, letzterer in den äusseren Jahresringen, abgestorben. Am Grunde des mir zur Verfügung stehenden Stammstückes, also 50 cm unter der Ringwunde, waren hingegen Rinde und Holzkörper noch lebendig, doch auch in diesen noch lebenden Partien, ganz wie in den todten, die Grenze zwischen Holz und Bast durch Eintritt aller Cambiumzellen in den Dauerzustand verwischt. R. Hartig hat bei seiner Untersuchung auf die Bestimmung der Grenzen, bis zu welchen die lebendigen Elemente reichten, keine Rücksicht genommen, sich vielmehr mit den Bezeichnungen Splint- und Kernholz begnügt. Auf die mich speciell interessirende Frage konnte ich somit aus seiner Abhandlung eine hinreichend bestimmte Antwort nicht erhalten, und dürfte somit meine Untersuchung in diesem Punkte die werthvolle und wesentlich ausgedehntere Arbeit R. Hartig's in erwünschter Weise ergänzen. Dass es gerade bei der Kiefer ziemlich schwer wird, ohne Berücksichtigung des Zellinhalts eine scharfe Grenze zwischen dem lebendigen und dem todten Holze, also dem, was ich Splint- und Kernholz nenne, zu ziehen, haben wir schon früher gesehen. — Die Untersuchung der oberen Partie meines Stammabschnittes, 50 cm über der Ringwunde, ergab einen Splint von 25 mm. Es waren dort 27 Jahresringe mit lebendigen Elementen innerhalb der Markstrahlen und in dem die Harzgänge umgebenden Holzparenchym versehen. Die Zahl der Jahrgänge entsprach annähernd derjenigen, die wir sonst im Splint von Kiefern vorfanden, doch stand der Splint an Dicke, und das ist das Wesentliche, bereits nicht unbedeutend hinter demjenigen gesunder

1) l. c. p. 368.

Kiefern zurück. Denn die gewöhnliche Dicke des Splintes, die wir dort angetroffen hatten, betrug im Durchschnitt etwa 60 mm. Vier bis sechs Centimeter über der Ringwunde waren die Verhältnisse nicht wesentlich anders. Innerhalb der Ringwunde selbst fand ich die drei bis vier äusseren Jahresringe des entblösten Holzkörpers durchaus todt. Vom vierten Jahresringe ab fingen die lebendigen Elemente in den Markstrahlen und in dem die Harzgänge umgebenden Holzparenchym an sich einzustellen, um im fünften und im sechsten Jahresringe fast zur vollen Zahl der normaler Weise lebendigen Inhalt führender Elemente anzuwachsen. So erhielt sich dann das Verhältniss vom siebenten bis zum neunten, eventuell selbst bis zum zwölften Jahresringe, worauf die lebendigen Elemente ziemlich rasch schwanden. Die dickste Stelle, die ich mit der vollen Zahl lebendiger Elemente innerhalb der Ringwunde ausgestattet fand, hatte eine radiale Dicke von 11 mm; es folgte auf dieselbe nach aussen eine 5 mm dicke Zone mit nur spärlichen lebendigen Elementen, und endlich eine 7 mm dicke Zone todten Holzes. An den meisten Stellen innerhalb der Ringwunde kam der Zone des lebendigen Holzes nur noch eine radiale Dicke von 5 mm zu. Innerhalb eines etwa 8 cm breiten Längsstreifens fand ich endlich überhaupt keine lebendigen Elemente vor. Dieser Streifen lag in gerader Richtung unter dem Aststumpfe, der von dem Aste stammte, unter welchem die Ringelung vorgenommen worden war, und der zu jener Zeit, nach Angabe des Herrn Kammerrath Horn, sich noch am Leben befand. — Dicht unter der Ringwunde waren die Verhältnisse nicht anders als innerhalb derselben, vor Allem die vier äusseren, sich in die todten Jahresringe des geringelten Theiles fortsetzenden Jahresringe und der ausserhalb derselben gelegene Zuwachs todt. Allmählich näherten sich aber die lebendigen Elemente des Holzkörpers der Peripherie, und in einer etwas mehr als 30 cm betragenden Entfernung von dem unteren Wundrande erreichten sie die von derselben Stelle an lebendige Rinde. Der Durchmesser der lebendigen Rindenzone betrug übrigens nicht über 0,5 mm, denn in solcher Entfernung von dem schlecht abgesetzten Holzkörper lag die innerste Korkschicht. Unten am Stammstück, also 50 cm unterhalb der Wunde, fand ich, den äusseren unvollkommenen Zuwachs nicht

mitgerechnet, den Splint ca. 25 mm dick und vorwiegend 14 Jahrgänge in sich fassend.

Wir sind somit zu dem Resultat gelangt, dass auch dieser vor 18 Jahren geringelte Baum, noch wirklichen Splint innerhalb der geringelten Stelle führte. Da uns hier unter sehr günstigen Umständen ein extremer Fall vorlag, so darf wohl aus demselben geschlossen werden, dass auch in allen anderen Fällen leitendes Holz noch lebendige Elemente enthält. Der Splint war hier innerhalb der geringelten Abschnitte sehr reducirt, aber auch der ganze, innerhalb der Ringelung befindliche Stammtheil in starkem Rückgang begriffen, und sicher wäre mit dem Erlöschen der letzten lebendigen Elemente im geringelten Stammabschnitte auch das Leben der darüber befindlichen Krone erloschen.

Soweit ich aus den untersuchten Bohrspänen schliessen darf, verhielt sich die andere Hälfte des Stammes innerhalb der geringelten Zone nicht anders wie die von mir untersuchte. Dass in diesem Falle die wenigen Bohrspäne aber nicht ein volles Bild von dem Sachverhalte geben konnten, liegt auf der Hand. So hätte ja beispielsweise ein Bohrspan, derjenigen Stelle der von mir untersuchten Stammhälfte, die nur noch todte Elemente enthielt, entnommen, sogar ganz falsche Vorstellungen über den Zustand des geringelten Stammstückes erwecken können. Auch überall dort, an der von mir untersuchten Seite, wo der Durchmesser der Splintzone nur noch 5 mm betrug, hätte dieselbe an Bohrspänen übersehen werden können, und das um so mehr, als der Splint sich dort in seiner Färbung kaum von dem todten Holze absetzte. Keine andere als eine genaue mikroskopische Untersuchung konnte somit in diesem Falle Aufschluss über die wirklich bestehenden Verhältnisse abgeben, wobei eine Färbung mit Methylgrün-Essigsäure, nach vorausgehender Fixirung mit Alcohol, zu Hilfe gezogen wurde. Stärke war nur in geringen Mengen in dem Baste oberhalb der Ringwunde nachzuweisen, sonst führten die lebendigen Elemente, der Winterzeit gemäss, Oeltropfen und vielfach ausser diesen, namentlich innerhalb der den Uebergang zum Kernholz vermittelnden Jahresringe, Harz. Der Harzreichthum des Kernholzes in dem ganzen geringelten Stammstücke war überhaupt sehr bedeutend, auch die peripherischen Gewebe stellenweise ganz

von Harz durchtränkt und in Kienholz verwandelt, die Oberfläche der Wunde vollständig mit Harz überzogen [1]).

Wie aus älteren Versuchen bekannt, vertragen Rothbuchen tief in den Holzkörper reichende Ringschnitte, ohne zu welken. R. Hartig führt an [2]), dass er drei Rothbuchen von 32 cm Durchmesser ringsherum bis zu 8 cm Tiefe einschneiden liess, so dass „0,75 der Stammquerfläche durchschnitten und nur 0,25 des Kernes für die Saftleitung übrig blieb", und dass trotzdem 38 Tage später auch nicht die geringste Veränderung in der Belaubung dieser Stämme zu erkennen war.

Wie wir in dem anatomischen Theile dieser Arbeit gesehen haben, bleiben nicht alle Markstrahl- und Holzparenchymzellen in alten Rothbuchenstämmen bis zum Mark am Leben. In einem 124-jährigen Buchenstamme, den wir untersuchten, waren vom 80., von aussen abgezählten Jahresringe an, nur noch vereinzelte, mit lebendigem Inhalt erfüllte Zellen anzutreffen, die meisten zeigten sich todt und gebräunt. Die Veränderungen, welche die Wasserleitungsbahnen aber dort erfahren hatten, waren nur gering und die inneren, der Hauptsache nach abgestorbenen Holztheile nur an etwas röthlicher Färbung von den äusseren verschieden. Da frug es sich denn, ob nicht bei der Rothbuche auch todtes Holz, da es so geringe Veränderung erfährt, Wasser leiten könne, und ob nicht eben diese Fähigkeit es verursache, dass Rothbuchen tiefe Ringschnitte so gut vertragen. Es kam also darauf an, einige entsprechende Versuche mit Rothbuchen bei sehr tiefem Einschnitt noch anzustellen.

Herr Constantin Hoffmann, kgl. Oberförster in Tronecken bei Hermeskeil, war auf meine Bitte so gefällig, diese Versuche auszuführen. Er that dies mit so viel Geschick, Ueberlegung, und mit so regem wissenschaftlichem Interesse, dass ich ihm aufrichtig zu Dank verpflichtet bin. Es wurden am 3. Juni 9 Stück Rothbuchen von 50 cm Durchmesser ringförmig eingesägt, und zwar 2 Stück auf 12 cm Tiefe, 2 Stück auf 14 cm, 2 Stück auf 16 cm, 2 Stück auf 18 cm und 1 Stück auf 20 cm. Am nächstfolgenden Morgen, nach Ablauf von etwa 18 Stunden,

---

1) Vergl. auch R. Hartig, l. c. p. 410.

2) Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, II, p. 48.

war die bis auf 20 cm Tiefe eingesägte Buche bereits sehr welk, eine der 18 cm und eine der 16 cm tief eingeschnittenen sichtlich erschlafft. Am zweiten Tage nach der Operation war die 20 cm tief eingeschnittene Buche vollständig welk, die beiden anderen zeigten lichte Kronen. Alle übrigen Buchen waren noch unverändert. Erst am 4. Tage begannen auch die beiden anderen, je 18 und 16 cm tief eingesägten Buchen zu welken. Am 6. Tage trat dieselbe Erscheinung an einer 14 cm tief eingesägten Buche ein. Die beiden 12 cm tief und die eine 14 cm tief eingesägten Buchen blieben bis zum 23. Juni ganz frisch; die andere 14 cm tief eingesägte Buche war im Wipfel welk geworden, im Uebrigen erschien sie aber noch turgescent. Auf meine Bitte liess Herr Oberförster Hoffmann am 23. Juni diese 4 Bäume fällen und sandte mir von denselben je eine 30 cm hohe Querscheibe, innerhalb welcher in halber Höhe der kreisförmige Einschnitt sich befand. Von den anderen Buchen war am 24. Juni die 20 cm tief eingesägte, eine mit 18 cm und eine mit 16 cm tiefem Einschnitt als todt anzusehen. Die zweite mit 16 cm und die zweite mit 18 cm tiefem Einschnitt zeigten sich bei trockenem Wetter welk, während sie bei Regenwetter vorübergehend wieder turgescent wurden.

Die anatomische Untersuchung der 4 Querscheiben, die mir Herr Oberförster Hoffmann zu senden die Güte hatte, ergab übereinstimmend das Vorhandensein zahlreicher lebendiger Elemente fast bis zur Mitte.

Die Stämme waren übereinstimmend ca. 70 Jahre alt.

Der ringförmige Sägeschnitt, den Herr Oberförster Hoffmann hatte ausführen lassen, hielt fast genau die von ihm angegebene Tiefe ein. Dieselbe schwankte nur um 1 cm. Die Höhe der durch den Schnitt entfernten Holzmasse betrug ca. 6 mm.

Der 14 cm tief eingesägte Baum, der in seinem Wipfel welk geworden war, zeigte nur einen ganz schmalen, braunrothen Kern in seiner Mitte. Die lebendigen Elemente der Markstrahlen und des Holzparenchyms reichten bis an diesen Kern heran. Sie enthielten nur wenig Stärke, einige auch gebräunten Inhalt. Ein der Hauptsache nach noch lebendiger centraler Holzcylinder von 22 cm Durchmesser stand dieser Rothbuche zur Verfügung. Vollständig reichte er aber

für die Versorgung der Krone mit Wasser nicht mehr aus. Auch fühlte sich das Holz dieser Querscheibe, wie mir Herr Oberförster Hoffmann schrieb, gleich nach dem Fällen warm und trocken, das der anderen Stämme feucht und kühl an. — Der andere 14 cm tief eingesägte Baum war ganz ohne rothbraunen Kern, und die lebendigen Elemente desselben reichten ohne Einschränkung bis zur Mitte. Zwar führten sie nur wenig Stärke, waren aber alle noch durchaus gesund und liessen den normalen Zellkern und Wandbeleg aus Protoplasma mit Methylgrün-Essigsäure leicht nachweisen. Dieser Baum hatte die Operation daher auch ohne merkbar nachtheilige Folgen ertragen. — Einer der beiden ganz frisch gebliebenen, 12 cm tief eingesägten Bäume hatte einen rothbraunen Kern von 7 cm Durchmesser aufzuweisen, im Uebrigen aber lebendige Elemente mit relativ reichem Stärkegehalt bis an diesen Kern heran. — Dem anderen dieser Bäume fehlte jede Spur eines rothbraunen Kerns; er führte lebendige Elemente mit reichlichem Stärkegehalt bis zur Mitte. Der Durchmesser dieses Baumes hatte nur etwa 48 cm betragen.

Auf meine Bitte hatte Herr Oberförster Hoffmann weiterhin die Güte, auch die drei Rothbuchen, die am 24. Juni bereits abgestorben waren, fällen zu lassen und mir entsprechende, den ringförmigen Einschnitt in sich fassende Querscheiben zu senden. Die Untersuchung derselben lehrte, dass der mit 16 cm tiefem Einschnitt versehene Baum deshalb die Operation schlechter als der andere vertragen hatte, weil ein Theil des ihm zur Verfügung gelassenen Holzcylinders gebräunt und abgestorben war. Der 18 cm tief eingeschnittene Baum, der auch bald nach der Operation zu leiden begann, zeigte einen rothen Kern von 6 cm Durchmesser, so dass die ca. 8 cm noch gesunden und lebendigen Holzes, die ihm verblieben waren, nicht ausreichten, um den Transpirationsbedarf der Krone zu decken. Der 20 cm tief eingeschnittene Baum, der schon am Tage nach der Operation sehr welk geworden war, zeigte in dem mittleren, 10 cm dicken Holzcylinder, der die Krone mit Wasser hätte zu versorgen gehabt, einen rothen Kern von 2—3 cm Durchmesser, im Uebrigen gesundes Holz mit lebendigen Markstrahlen. Diese geringe Holzmasse reichte auch hier für die Bedürfnisse der Transpiration nicht aus.

In keiner der Rothbuchen, welche ich der Güte des Herrn

Oberförsters Hoffmann verdanke, war somit, auch nur für kurze Zeit, der Transpirationsstrom durch völlig todtes Holz vermittelt worden. Allen diesen Bäumen hatte noch eine Anzahl in ursprünglicher Verfassung befindlicher Wasserbahnen zur Verfügung gestanden.

Auf Grund dieser Erfahrungen könnte man schliessen, dass die lebendigen Elemente des Holzkörpers in der That, so wie von verschiedenen Seiten angenommen wird, in die Arbeit der Wasserleitung eingreifen. Denn thatsächlich erlischt die Leitungsfähigkeit des Holzkörpers mit dem Augenblick, wo er seine lebendigen Bestandtheile einbüsst. Das Kernholz leitet somit nicht, könnte gefolgert werden, weil es todt ist. Gestützt erschien diese Folgerung auch durch die Thatsache, dass es Kernhölzer giebt, die, übereinstimmend mit andern Kernhölzern, das Wasser nicht leiten, von dem Splintholze aber kaum durch etwas mehr als den Mangel lebendiger Elemente unterschieden sind, so bei der Fichte und der Edeltanne. Die Schlussfolgerung, dass die lebendigen Elemente in die Arbeit der Wasserleitung eingreifen, wäre trotzdem nicht berechtigt. Denn wir werden später sehen, dass auch todtes Holz leitungsfähig für Wasser bleiben kann, wenn dafür gesorgt wird, dass es bei der Abtödtung keine weiteren Veränderungen erfahre und bei Anstellung des Versuches hinreichend viel Wasser enthalte. Unter normalen Verhältnissen wird hingegen der Holzkörper beim Absterben so von Wasser entleert, dass er hierdurch meist schon seine Leitungsfähigkeit einbüsst; ausserdem ist auch das Absterben der lebendigen Elemente des Holzkörpers mit Veränderungen in den Wasserbahnen verbunden, die, wenn auch in manchen Fällen wenig auffallend, diese Wasserbahnen doch ihrer Leitungsfähigkeit berauben. Sterben einzelne Abschnitte einer Leitungsbahn ab, so wird ausserdem die ganze Bahn dadurch leitungsunfähig, dass sich durch correlative Vorgänge an den Anschlussstellen, die lebendigen Theile der Wasserbahn gegen die todten durch Harz, Schutzgummi oder Thyllen abschliessen.

Die durch Entrindung eingeleitete Verkernung des Splintes bei Kernbäumen ist, wie hier im Anhang noch bemerkt werde, eine schon längst bekannte Thatsache. Buffon giebt bereits an [1]),

---

1) Moyen facile d'augmenter la solidité, la force et la durée du bois. Histoire de l'Académie royale des sciences, 1738. Avec les Mémoires etc., 1740, p. 169.

dass es hinreicht, einen Baum zur Zeit des Saftsteigens seiner ganzen Ausdehnung nach zu entrinden und ihn vor dem Fällen ganz trocken werden zu lassen, um ein viel festeres und dauerhafteres Holz zu erhalten. Dabei werde der Splint ebenso hart und resistent wie der Kern werden.

Vorgreifende Orientirung über die Ursachen des Wassersteigens in der Pflanze.

Die allmählich überhand nehmende Vorstellung, dass die „rohen Nahrungssäfte" sich nicht innerhalb der Zellwände, sondern innerhalb der Zellräume bewegen, hat eine grosse Reihe neuer Untersuchungen veranlasst, die zum Theil auf rein physikalischem Wege, zum Theil mit Zuhilfenahme besonderer Lebensvorgänge, bemüht waren, das Problem des Saftsteigens zu lösen. Die Versuche, auf rein physikalischem Wege diese Aufgabe zu lösen, haben im Wesentlichen wieder auf früher herangezogene Kräfte: Luftdruck und Capillarität zurückgegriffen, und nur die Endosmose konnte nicht in ihre alten Rechte von neuem eintreten. Die Schwierigkeit, welche der Lösung des Problems mit Hilfe der auf physikalischem Gebiet sichergestellten Thatsachen entgegenstand, wurde durch diese neueren Bemühungen nicht gehoben, denn wenn auch Boehm neuerdings den ganzen Vorgang wieder auf Capillarität zurückzuführen sucht, so ist er doch den Beweis für seine Behauptung schuldig geblieben. Seine Untersuchungen, von denen er meint, dass sie die Aufgabe endgiltig lösen, haben nämlich selbst den allerältesten Einwand nicht beseitigt, dass die Capillaren des Holzkörpers nicht eng genug seien, um das Wasser zu den erforderlichen Höhen zu heben. Dazu kommt aber noch das neuerdings besonders betonte Hinderniss der Jamin'schen Ketten hinzu. Boehm hat nur mit kurzen Pflanzentheilen experimentirt, für welche die Capillarität, auch den gegebenen Erfahrungen der Physik gemäss, zur Hebung des Wassers hätte ausreichen können, bei Bäumen von bedeutender Höhe müsste uns aber die Capillarität, den-

selben Erfahrungen nach, im Stiche lassen, selbst auch dann, wenn wir, wie es Boehm thut, zur Wasserversorgung des Blattparenchyms den Luftdruck zu Hilfe ziehen wollten. Versuche, bis zur kritischen Höhe oder gar über dieselbe hinaus das Wasser zu heben, hat Boehm überhaupt nicht angestellt und auf Capillarität vorwiegend nur durch Elimination geschlossen: weil ihm seine Versuche die Ueberzeugung aufdrängten, dass weder die Endosmose, noch der Luftdruck für sich die Ursache der Wasserbewegung sein könnten. Gerade aber die Unmöglichkeit, aus den physikalisch gegebenen Thatsachen heraus, durch Capillarität, die Wasserbewegung zu erklären, verbunden mit der Thatsache, dass Tracheen und Tracheïden so häufig Luftblasen führen, hatte zunächst Unger und dann vornehmlich Sachs zu der Aufstellung der Imbibitionstheorie des Saftsteigens geführt. Es unterliegt keinem Zweifel, dass jene Theorie, wie sie von Sachs ausgebildet wurde, ihrer Zeit die berechtigste, logisch wie wissenschaftlich bestbegründete war, weil sie mit den bekannten Thatsachen am besten harmonirte. Nicht umsonst hat sie denn auch ein so hervorragender Physiologe, wie Pfeffer, von Sachs übernommen. — Erst mit dem Augenblicke, wo die Thatsachen sich zu mehren begannen, die für eine Leitung des Wassers in den Lumina der Gefässe und Tracheïden und nicht in deren Wänden zeugten, musste die Imbibitionstheorie als erschüttert gelten, und mit vollem Recht wurde daher um die Sicherstellung dieser Thatsachen eine lebhafte Polemik geführt. Nahm man als erwiesen an, dass es die Lumina der leitenden Elemente sind, welche das Wasser führen, so trat damit auch das ganze Problem der Wasserbewegung wieder in die Anfangsstadien seiner Erklärung zurück, und stand der moderne Forscher ganz denselben Schwierigkeiten dasselbe zu lösen, wie einst Hales, gegenüber. Das brachte die Theorieen von dem Eingreifen lebendiger Elemente in die Wasserleitung auf, zuerst durch Westermaier, dann durch Godlewski und Janse. Diese Theorieen schienen die ganze Frage der Wasserleitung in der Pflanze mit einem Schlag zu lösen, indem sie das Unbekannte in das x verlegten, mit welchem wir bei jeder physiologischen Arbeit zu rechnen gewohnt sind, in die Lebensvorgänge des Protoplasmas. Von einem physikalischen Vorgang wurde die Wasserleitung in der Pflanze zu einem Lebensvorgange erhoben, das heisst zu einem Vorgang, bei welchem uns die Ursache des

Zusammenwirkens zahlreicher Kräfte noch unbekannt ist. Der Vorgang blieb insoweit nur noch Gegenstand rein physikalischer Behandlung, als es sich um die vermittelnde Thätigkeit der todten Leitungsröhren handelte.

Durch eigene Versuche zu der Ueberzeugung geführt, dass der Wasserstrom in der Pflanze sich innerhalb der Lumina des trachealen Systems bewege, neigte ich zunächst der vitalen Erklärungsweise der Wasserbewegung zu. Diese umging die Schwierigkeiten, wirkte beruhigend und nahm dadurch zunächst für sich ein. Bald aber standen meine Erfahrungen mit dieser vitalen Theorie in Widerspruch und zwangen mich, auf die rein physikalischen Erklärungsversuche zurückzugreifen. Ich gelangte alsbald zu der Ueberzeugung, dass die bisherigen Erfahrungen der Physik für eine unmittelbare Lösung des vorhandenen Problems nicht ausreichen, und dass es daher vor Allem nothwendig sei, gewisse Versuche auf die Vorfragen zu richten. So stellte ich zunächst einige der Bedingungen fest, unter welchen das Emporsteigen des Wassers in einem so gebauten System von Hohlräumen, wie ihn die Pflanze besitzt, möglich ist. Zu physikalischen Theorien werden diese Erfahrungen von anderer, berufenerer Seite zu verwerthen sein.

Dass es sich um einen physikalischen und nicht um einen vitalen Vorgang beim Wassersteigen in der Pflanze handelt, lehrten mich zunächst Versuche mit über $10^1/_2$ m hohen Pflanzen, in welchen ich giftige Lösungen aufsteigen liess. Weiterhin gelang es mir auch, in zuvor getödteten Pflanzentheilen entsprechende Steighöhen zu erlangen. Dann stellte ich fest, welche Bedingungen innerhalb der Leitungsbahnen getödteter Pflanzentheile erfüllt sein müssten, um sie leitungsfähig zu machen. Es zeigte sich, dass hierzu imbibirte Zellwände, eine bestimmte Füllung der Lumina mit Flüssigkeit und ein entsprechender Abschluss der Lumina gegen die Umgebung nothwendig seien. Auch bei imbibirter Zellwand und vollkommnem äusseren Abschluss, bleiben die Bahnen leitungsunfähig, wenn sie Luft, über ein begrenztes Maass hinaus, führen. Der Luftdruck greift nur haltend, nicht hebend in die Vorgänge der Wasserleitung ein. Er hilft das Wasser suspendirt zu erhalten, veranlasst aber nicht den Wasseraufstieg. Auch die Transpiration schafft nur Raum für das nachrückende Wasser, indem sie durch Vermittlung lebendiger Zellen den Enden der Wasserbahnen ihren

Inhalt entzieht. Bei eintretendem Wassermangel werden einzelne Bahnen entleert und durch selbstthätige Mechanismen abgeschlossen. In solchen entleerten Bahnen herrscht starker negativer Gasdruck und hält mehr oder weniger unverändert so lange an, bis dass eine Neufüllung der Bahn möglich wird. Da die Wände der trachealen Bahnen erst bei sehr hohen Druckdifferenzen für Luft durchlässiger werden, so kann die negative Gasspannung sehr lange sich in denselben erhalten. Der Blutungsdruck greift in das Wasserleitungsgeschäft der Pflanzen nicht unmittelbar ein. Er entsteht dadurch, dass lebendige, den Wasserbahnen anliegende Zellen ihren Zellsaft in dieselben pressen. Bei gefüllten Bahnen führt dies zu einer Ueberfüllung, die sich als hydrostatischer Druck äussert. Die trachealen Bahnen entziehen den sie umgebenden Zellen der Wurzel das Wasser. Diese Zellen selbst nehmen es auf osmotischem Wege aus dem Boden auf. Andererseits wird auch den Enden der Bahnen auf osmotischem Wege das Wasser entzogen.

Diese aphoristischen Angaben mögen den Gang der weiteren Untersuchung andeuten. Es wird die Aufgabe derselben sein, das hier Vorausgeschickte weiter zu entwickeln, zu ergänzen und zu begründen.

Die Wege der Salz- und Farbstofflösungen in den Pflanzen.

Die sich mehrenden Angaben, dass die Lumina der Tracheïden und Gefässe und nicht die Zellwände es seien, welche das Wasser in der Pflanze aufwärts leiten, konnten nicht immer mit schlagenden Einwänden widerlegt werden, und so kommt es, dass die Vorstellung von einer intracellularen Leitung des Wassers in der Pflanze immer mehr an Boden gewinnt. Den Elfving'schen Versuchen, bei welchen durch Verstopfung der Wasserbahnen mit Cacaobutter die Unterbrechung der Wasserleitung erzielt wurde [1]), hielt man den nachtheiligen Einfluss der fettigen Cacaobutter auf die Querschnitte der blosgelegten Zellwände entgegen. Vesque suchte durch entsprechende Veränderung der Versuche die Möglichkeit eines solchen Einwandes

1) Ueber die Wasserleitung im Holz, Bot. Ztg. 1882, Sp. 714.

zu beseitigen [1]); Scheit [2]) ersetzte hierauf die Cacaobutter durch eosinfarbige Gelatine und injicirte mit derselben die Versuchsobjecte; Errera [3]) endlich liess an Stelle der mit Eosin gefärbten Gelatine eine mit chinesischer Tusche versetzte Gelatine treten, die auch nicht künstlich injicirt, vielmehr von der Pflanze selbst eingesogen wurde und die, wie jede andere der früher angewandten, die Wasserbahnen verstopfenden Substanzen, ein baldiges Welken der Versuchsobjecte veranlasste. — Ich habe die Gelatineversuche mit gleichem Erfolge wiederholt. Transpirirende Sprosse verschiedener Pflanzen, unter anderen auch der von Errera benutzten Vitis vulpina, wurden in einem bis auf 30° C erwärmten Zimmer zunächst eine Zeit lang in Wasser gestellt und hierauf, für ca. 20 Minuten, in eine noch bei 25° C dünnflüssige Gelatine übertragen. Dann kamen sie in ein kühles Zimmer und zwar dort in Wasser von 10° C, in welchem die eingedrungene Gelatine rasch erstarrte. Die unteren Schnittflächen an solchen Sprossen wurden hierauf erneüert und dieselben in Wasser gelassen. Sie welkten stets schon nach wenigen Stunden, während Controlzweige, die unter sonst gleichen Bedingungen nur Wasser passirt hatten, sich frisch erhielten. Wie Errera, habe auch ich stets, wie schon erwähnt wurde, gleich nach dem Erstarren der Gelatine eine einige Millimeter dicke Lamelle von den unteren Schnittflächen abgetragen, stellte aber auch noch einen zweiten zarten Querschnitt her, um direct unter dem Mikroskope zu constatiren, dass die Gefäss- und Tracheïden-Lumina annähernd vollständig mit Gelatine verstopft, die Zellwandquerschnitte hingegen völlig frei von derselben seien. — Diese Versuche sind in ihrem Erfolge ganz überzeugend, so dass nur der Einwand möglich bleibt, dass die Wasserleitung in der unversehrten Pflanze sich anders als in abgeschnittenen Sprossen vollziehe. Dann müsste freilich ein Durchschneiden der Zellwände schon genügen, um sie leitungsunfähig zu machen, was anzunehmen sehr schwer hält.

Durch unversehrte Wurzeln Stoffe aufnehmen zu lassen,

---

1) Recherches sur le mouvement de la sève ascendante, Ann. d. sc. nat., Bot, VI. sér., T. XIX, p. 188.

2) Die Wasserbewegung im Holze, Bot. Ztg. 1884, p. 201.

3) Une expérience sur l'ascension de la sève chez les plantes, Compte rendu de la séance du 9 janvier 1886 de la société roy. de bot. de Belgique, Bulletin, Bd. XXV, II. Th., p. 28.

welche die Wasserbahnen verstopfen, dürfte kaum gelingen. Colloïdale Substanzen sind da von vornherein ausgeschlossen. Auch die Versuche, im Innern der Pflanze Niederschläge aus Salzlösungen, die nach einander den Wurzeln geboten werden, zu erhalten, führen zu keinem erfolgreichen Ergebniss. Unversehrte Wurzeln nehmen solche Salzlösungen überhaupt kaum in nachweisbaren Mengen auf, geschweige denn in solchen, dass die Niederschläge eine Verstopfung der trachealen Bahnen zur Folge haben könnten.

Daher stossen selbst die Versuche, durch farbige Niederschläge auch nur die Bahnen des Wasserstromes in der unversehrten Pflanze zu bestimmen, auf Schwierigkeiten, soweit sie mit der Forderung verknüpft werden, dass die Aufnahme der Lösungen durch die g e s u n d e Wurzel erfolge. Dieselbe Schwierigkeit tritt auch der Aufnahme von Farbstofflösungen durch Wurzeln entgegen. Die Frage, ob im Falle erfolgter Aufnahme solcher Salzlösungen oder Farbstoffe die Wurzel wirklich noch gesund gewesen sei, hat daher von jeher zu Controversen geführt. Nach Link [1]) war es vornehmlich Rominger [2]), der durch die „unverletzten und gesunden“ Wurzeln Lösungen von gelbem Blutlaugensalz (1 Theil auf 50—60 Theile Wasser) aufsaugen liess, indem er Topfpflanzen mit dieser Lösung begoss. Er stellte dann Schnitte durch die betreffende Pflanze her und legte sie in eine Lösung von Eisenvitriol, um den Niederschlag von Berlinerblau zu erhalten. Um es aber zu verhindern, dass sich das gelbe Blutlaugensalz beim Schneiden über das ganze Präparat verbreite, trug er die Gewebe auf Längsschnitten, von aussen beginnend, langsam ab und legte nur auf solche Färbungen Gewicht, die sich in unverletzten Elementarorganen vorfanden. So kam er zu dem Ergebniss, dass bei allen Gefässpflanzen der Saft allein durch die Gefässe in die Höhe geführt wird. Rominger fand die Gefässe der Wurzeln gefärbt oder nicht, im Stamme eine mehr oder minder grosse Anzahl von Gefässen mit blauem Inhalt, bei Dicotylen am häufigsten in den äusseren Schichten des Holzes. Hin und

1) Ann. d. sc. nat., T. XXIII, p. 144, Vorlesungen über Kräuterkunde, p. 116; Grundlehren der Kräuterkunde, 1837, p. 191.

2) Versuche über die Saftführung der Gefässe, Bot. Ztg. 1843, Sp. 180.

wieder zeigten die Färbung stellenweise auch die an die Gefässe grenzenden Markstrahlen. In den Blättern war die Färbung der Gefässe besonders stark; auch das an dieselben grenzende Mesophyll war oft gefärbt und in manchen Fällen auch das Parenchym in der Nähe der Gefässe [1]). — Link selbst hatte [2]) zuvor Pflanzen von Rhagodia Billardieri, Begonia divaricata, Stylidium fruticosum und Hermannia altheaefolia mit dem Topfe in eine Lösung von Eisencyankalium in 32 Theilen Wasser und dann nach 8 Tagen in eine Lösung von schwefelsaurem Eisen in 32 Theilen Wasser gesetzt. Nach 24 Stunden sollten sich die Spiroïden, sowohl die „echten wie unechten", mit einer blauen Flüssigkeit erfüllt gezeigt haben. Link wiederholte häufig diese Versuche, wie er angiebt, doch nicht immer mit glücklichem Erfolg. Oft welkten die Pflanzen von einer weit schwächeren Auflösung, zuweilen hielten sie sich in beiden Auflösungen gut, aber dennoch waren die inneren Theile nicht blau gefärbt. — Unger [3]) gelang es, das Perigon einer weissblüthigen Hyacinthe, die er im Topf mit grossen Mengen von Kermesbeersaft begoss, zu färben. In der ganzen Pflanze waren nur die Gefässbündel tingirt. Ein ebensolcher Erfolg wurde mit dem rothen Safte der Beeren von Sambucus nigra erzielt [4]). Im ersten Falle sollten sich nicht die Spiralgefässe, sondern die sie begleitenden „Holzzellen" als bevorzugte Leitungsbahnen herausgestellt haben, im zweiten Falle zeigten sich hingegen gerade die Spiralgefässe mit rothem Saft erfüllt. Unger sah aber diese Erfüllung der Gefässe mit Saft nur als eine Anomalie an, da, seiner Auffassung nach, die Gefässe natürlicher Weise Luft führen. Narcissus Tazetta und Calla aethiopica nahmen den Farbstoff nicht auf. Saft der rothen Rübe und der rothen Beeren von Ligustrum vulgare drang auch in die weisse Hyacinthe nicht ein. Ebenso blieb Cochenille ohne Wirkung, während ein theilweiser Erfolg mit einem Decoct der Krappwurzel erzielt wurde [5]).

1) l. c. Sp. 183, 184.

2) l. c.

3) Ueber Aufnahme von Farbstoffen bei Pflanzen, Denkschriften der Kgl. Akad. d. Wiss. zu Wien, math.-naturwiss. Cl., Bd. I, 1850, p. 75.

4) Nachträgliches zu den Versuchen über Aufsaugung von Farbstoffen durch lebende Pflanzen, Sitzber. d. math.-naturwiss. Cl. d. Kgl. Akad. d. Wiss. zu Wien, Bd. X, 1853, p. 117.

5) Erste Abhandlung, p. 80.

Färbungsversuche mit Kermesbeersaft und Hollunderbeersaft misslangen bei Tradescantia Sellowii, Begonia colorata, Narcissus poëticus u. s. w., etwas geröthet durch Phytolacca-Saft wurde nur Narcissus poëticus. Die Wurzeln der gefärbten Hyacinthen zeigten sich nur an den Spitzen stark tingirt, weiter hinauf aber ungefärbt [1]). Während Unger mit Phytolacca-Saft Färbung bei der weissblüthigen Hyacinthe erzielte, war dies seinerzeit Sénebier [2]) mit Fernambukholz-Aufguss nicht gelungen; ebenso zeigten sich Erbsenpflanzen völlig ungefärbt, die Sénebier in einem Boden erzog, den er fortdauernd mit Fernambukholz-Infusion begoss. Betreffs der Hyacinthe giebt auch Baillon an, dass deren Färbung unterbleibt, solange als die Wurzeln noch gesund und unversehrt sind [3]). Cornu und Mer [4]) fanden an Wurzeln von Allium Cepa, die in sehr verdünnten Fuchsinlösungen gehalten wurden (1 : 200 000 bis 1 : 10 000) die Spitzen besonders stark tingirt. Nach Uebertragung der Pflanze in reines Wasser trat an solchen Wurzelspitzen, falls sie durch den Farbstoff nicht getödtet worden waren, eine farblose Zone auf, die sich vergrösserte und die Wurzelhaube vor sich her rückte. Gewöhnlich fand eine Anschwellung und auch wohl Krümmung an der Stelle des wieder aufgenommenen Wachsthums statt, als Beweis, dass störende Wirkungen sich zuvor auf die Wurzelspitzen geltend gemacht hatten [5]). Die Fuchsinlösung war in dem trachealen System der Wurzeln nicht höher als bis zum Spiegel der Flüssigkeit, in der sie tauchten, zu verfolgen. Violet de quinoléine, Eosin und Anilinbraun verhielten sich den unversehrten Wurzeln von Allium Cepa gegenüber nicht wesentlich anders als das Fuchsin. Anilinblau, Anilinschwarz, Bleu Coupier, Blauholz, Orseille, Indigcarmin gaben gar keine Färbung im Wurzelinnern.

Die Versuche, Farbstoffe durch unverletzte und gesunde Wurzeln aufnehmen zu lassen, hat neuerdings besonders Wieler [6])

1) Zweite Abhandlung, p. 119.

2) Physiologie végétale, T. IV, 1880, p. 44.

3) Comptes rendus 1875, T. LXXX, p. 428.

4) Recherches sur l'absorption des matières colorantes par les racines, Compte rendu du congrès international de botanique et d'horticulture, 1878, Sep.-Abzug.

5) l. c. p. 7.

6) Ueber den Antheil des secundären Holzes der dicotyledonen Gewächse an der Saftleitung und über die Bedeutung der

wieder aufgenommen, wie es schien, mit Aussicht auf Erfolg, da inzwischen Pfeffer [1]) die Aufnahmefähigkeit mancher Anilinfarbstoffe durch lebendige Pflanzenzellen erwiesen hatte. Methylenblau in der Verdünnung von 1:100000 wurde den Pflanzen vorwiegend in Wasserculturen geboten; und sollten sich dieselben hierbei normal weiter entwickelt haben. Die Färbung schritt in der Weise fort, dass zunächst die Gefässe, dann die angrenzenden Elementarorgane des Holzes, zuletzt die Elemente des „Hartbastes" sich tingirt zeigten. Während in den höchsten Stammtheilen nur erst die Gefässe gefärbt waren, konnte die Färbung in der Wurzel und in den unteren Stengeltheilen sich bereits auf alle verholzten Gewebe erstrecken.

Auch Goppelsroeder gab vor kurzem [2]) an, die Aufnahme von Farbstoffen durch Wurzeln bei Topfpflanzen, die mit Farbstofflösungen begossen wurden, festgestellt zu haben. Auf meine Anfrage, welche Pflanzen das im Besondern seien, mit denen die Versuche gelungen wären, hatte Herr Prof. Goppelsroeder die Güte, mir die Pelargonien und Hyacinthen, und bezüglich der Farbstoffe Naphtolgelb, Phloxin, Eosin, Fuchsin, Methylenblau, sowie das Echtroth zu nennen.

Ich selbst stellte hierauf Versuche mit einer Reihe verschiedener Pelargonien an, die, aus Stecklingen erzogen, zu kräftigen, gut durchwurzelten Pflanzen erwachsen waren. Die Exemplare blieben zum Theil in Töpfen, zum Theil wurden sie aus denselben gehoben und in grössere Gefässe mit Wasser gesetzt, in welchen ein Theil der Erde von dem Erdballen vorsichtig abgespült wurde. Im letzten Falle blieben die Pflanzen zunächst drei Tage im Wasser stehen, um etwaige Verletzungen an den Wurzelhaaren, oder dergleichen, ausheilen zu können. Einige panachirte Pflanzen nahmen Eosin aus der ihnen dargebotenen, ganz schwach gefärbten Lösung auf. Querschnitte durch den

---

Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Flächen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIV, 1888, p. 119.

1) Ueber Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. Unters. a. d. bot. Inst. zu Tübingen, Bd. II, p. 179.

2) Ueber Capillar-Analyse und ihre verschiedenen Anwendungen, sowie über das Emporsteigen der Farbstoffe in den Pflanzen, Sep.-Abdr. aus den Mittheilungen der Section für chemische Gewerbe d. k. k. Technologischen Gewerbe-Museums, Wien, 1889, p. 46.

Stengel zeigten alsdann zahlreiche Reihen der radial gestellten Gefässe, von den primären Gefässtracheïden aus beginnend, gefärbt. Dass nur die Gefässe, resp. Gefässtracheïden, den Farbstoff geleitet hatten, war sehr deutlich, und nur von ihnen aus breitete er sich ein wenig auf die Umgebung aus. Die Färbung reichte mit abnehmender Intensität bis in den Gipfel der Zweige, d. h. etwa 20 cm hoch, und auch die Gefässbündel der Blattstiele zeigten sich an den unteren Blättern der Zweige gefärbt. Andere Exemplare, welche in äusserst verdünnten Methylenblaulösungen gestanden hatten, färbten sich in ganz derselben Weise, gaben aber nicht so prägnante Bilder auf Querschnitten, weil das Methylenblau weniger intensiv tingirt. Entsprechend den Wahrnehmungen von Unger, Cornu und Mer fand ich die äussersten Wurzelspitzen der Versuchspflanzen intensiv von Eosin gefärbt, schwach rosenroth die Wurzelrinde. Phloxin färbte ebenfalls die Wurzelspitzen der Versuchspflanzen intensiv roth, war aber nicht bis in den Centralcylinder derselben zu verfolgen. — Versuche, durch die Wurzeln von Albizzia lophantha und von Musa rosacea Eosin und Methylenblau aufnehmen zu lassen, blieben erfolglos. — Luftwurzeln von Dendrobium nobile in Methylenblaulösung gesetzt, zeigten nach 3 Tagen die Wurzelhülle und die Exodermis, die Gefässe sammt den sie umgebenden, stark verdickten Elementen und stellenweise auch die Siebtheile gefärbt. An der oberen Grenze der Farbstofflösung hörte die Färbung der Wurzelhülle ganz plötzlich auf und so auch der Siebröhren, während die Färbung der Gefässe und der sie umgebenden Elemente anhielt und sich eine kurze Strecke weit auch noch in den Stengel fortsetzte. Selbst an den Stellen intensivster Färbung der Hülle der Exodermis und der Gefässe des Centralcylinders zeigte sich das Gewebe der zwischenliegenden Rinde fast farblos. Nur die Raphidenzellen hatten in dieses Gewebe mehr Farbstoff aufgenommen, und so auch zeigten sich intensiv gefärbt die verdickten Zellen der Endodermis, in den dünnwandigen Endodermiszellen der Durchlassstellen aber nur die cutinisirten Bänder. — Aus einer Fuchsinlösung nahm nur die epidermoidale Hülle der Dendrobium-Wurzel Farbstoff auf, die Exodermis blieb bereits ungefärbt.

Ich kann auf Grund eigener und fremder Untersuchungen mich der Ueberzeugung nicht verschliessen, dass die Wurzeln,

welche Salz- und Farbstofflösungen in solchen Mengen aufnehmen, dass ein Nachweis derselben in den trachealen Bahnen möglich wird, nicht mehr im gesunden Zustande sich befinden; doch das ändert, meiner Ansicht nach, nichts an der Tragweite des Ergebnisses. Dieses Ergebniss geht dahin, dass auch Salz- und Farbstofflösungen, die durch abgeschlossene Wurzelenden in die Pflanze Aufnahme finden, den Weg nach den trachealen Bahnen einschlagen und ihre weitere Beförderung in denselben finden. Dass bei solchen Versuchen auch andere Gewebetheile ausser den trachealen sich färben können, schwächt die Schlussfolgerung, dass letztere allein als Leitungsbahnen dienen, nicht ab, denn es lässt sich nachweisen, dass die färbenden Substanzen sich entweder auf dem Wege nach diesen Bahnen, oder von ihnen aus, erst den anderen Elementen mittheilten. Werden hierbei einzelne Gewebe in der Färbung übersprungen, so dass die gefärbten Elemente von den trachealen Bahnen durch ungefärbte Zellschichten getrennt erscheinen, so hängt es eben nur mit der geringen Absorptionsfähigkeit der letzteren für den angewandten Farbstoff, respective auch das angewandte Salz, zusammen. — Die Tragweite der durch abgeschlossene Wurzelenden, bei Aufnahme von Salz- und Farblösung, sich ergebenden Resultate ist auch schon von H. v. Mohl richtig gewürdigt worden. Er schreibt in den Grundzügen der Anatomie und Physiologie der vegetabilischen Zelle [1]): „Von grosser Bedeutung für die Lehre von der Saftführung sind dagegen die Versuche von Link, nach welchen bei den Pflanzen, welche einige Tage lang mit einer Auflösung von Cyaneisenkalium und nachher mit einer Auflösung von schwefelsaurem Eisenoxyd begossen wurden, sich in den Gefässen und nicht in den Holzzellen Berlinerblau niederschlug. Wenn dieses Resultat constant erhalten würde, so müsste man diesen Versuch als einen endgültigen Beweis für die Saftführung der Gefässe anerkennen, allein ungeachtet diese Versuche durch Rominger bestätigt und auch von mir wiederholt mit demselben Resultat angestellt wurden, so lieferten sie auch in vielen anderen Fällen (Hoffmann, Ueber die Organe der Saftbewegung, Bot. Ztg., 1850) gerade das entgegengesetzte Resultat, ohne dass es bis jetzt

1) Aus Rudolph Wagner's Handwörterbuch der Physiologie besonders abgedruckt, 1851, p. 73.

möglich wäre, den Grund der Verschiedenheit, welche möglicherweise beim Eindringen der Salzlösungen in die Gefässe in zufälligen Verletzungen der Pflanzen gelegen sein könnte, mit Sicherheit zu bestimmen." „Die Vertheidiger der Ansicht, dass die Gefässe Luft führen, als deren Hauptvertreter in der neueren Zeit Schleiden (Grundz. II. Aufl., Bd. II, p. 505) zu nennen ist, stützen sich einfach auf die mikroskopische Untersuchung, indem man bei dieser immer Luft in den Gefässen findet. Diese Angabe ist, specielle Ausnahmen abgerechnet, unstreitig richtig."

Die Hoffmann'schen Versuche, welche von Mohl in der Schlussfolgerung störten, würden jetzt nicht mehr bedeutend ins Gewicht fallen. Hoffmann berücksichtigte eben nicht die von den Gefässen aus erfolgende Ausbreitung des Salzes und sorgte auch bei Feststellung des Ergebnisses nicht dafür, dass die Salzlösung auf das leitende Gewebe localisirt bleibe. Daher auch die Resultate einander widersprachen und Hoffmann schliesslich zu dem Gesammtergebniss gelangte, dass kein anatomisches System ausschliesslich bei der Fortleitung unverarbeiteter Flüssigkeit betheiligt sei [1]). „Zumal zeigt sich", meint Hoffmann, „dass die Tracheen im Sommer zwar gewöhnlich Luft führen, dagegen sehr leicht unter Verdrängung dieser Luft sich vorübergehend mehr oder weniger, ja gänzlich mit Flüssigkeit erfüllen. In der That scheint mir", meint Hoffmann weiter, „auch aus chemischen Gründen der ganze Gasgehalt der Spiralen und Spiroiden weiter nichts, als das Resultat der Aufnahme von rohen Erdflüssigkeiten, welche, in höhere, wärmere Schichten der Pflanze aufsteigend, ihren Gehalt an aufgelöstem Gas nunmehr wenig verändert entwickeln, in jene continuirlichen Gänge diffundiren und so nach oben und aussen unschädlich abdunsten. Hiernach sind die Gefässe als Sicherheitsröhren zu betrachten."

Das andere störende Moment, welches die Schlussfolgerungen v. Mohl's beeinflussen musste, der behauptete Luftgehalt der Gefässe, ist durch neuere Untersuchung auf ein richtiges Maass eingeschränkt worden, wird aber auch innerhalb dieser Schranken als eine schwer zu überwindende Schwierigkeit der

---

1) l. c. p. 858.

Wassersteighypothesen empfunden. Wir werden später auf diese Frage zurückzukommen haben.

Aus den Versuchen mit Farbstofflösungen an unversehrten Pflanzen lässt sich, eine richtige Kritik der Ergebnisse vorausgesetzt, auf den Weg schliessen, dem der Wasserstrom in der Pflanze folgt. Ob dieser Wasserstrom in den Wänden oder in den Hohlräumen der betheiligten Elemente sich bewegt, ist hingegen den Versuchen nicht bestimmt zu entnehmen, da die Pflanze den Farbstoff nicht in solcher Concentration aufnehmen kann, dass die Flüssigkeit in den sie führenden Hohlräumen noch deutlich gefärbt erscheine. Nur die durch dauernde Absorption des Farbstoffes tingirten Wände verrathen die Bahnen desselben. Instructiver sind daher, unter gleich streng gezogenen Cautelen, die Versuche mit den Niederschlag bildenden Salzen, weil sie diesen Niederschlag im Lumen der betheiligten Elemente zeigen. In diesem Sinne können die mit Blutlaugensalz an den unversehrten Pflanzen gewonnenen Resultate eine grössere Tragweite beanspruchen.

Nachdem aber einmal festgestellt worden war, dass in der unverletzten Pflanze die Farbstoff- und Salzlösungen denselben Bahnen folgen wie innerhalb abgeschnittener, mit dem Querschnitt in die Flüssigkeit tauchender Sprosse, gewinnen auch die Versuche mit letzterem weitergehende Bedeutung.

Da kommt es bei der Wahl des Farbstoffes vor Allem darauf an, dass er in richtigem Verhältniss von den Leitungsbahnen absorbirt werde und hinter dem Lösungsmittel nicht beträchtlich zurückbleibe. Bei nicht färbenden Salzlösungen kann letzterer Punkt im Wesentlichen unberücksichtigt bleiben, da das Salz alsdann meist ebenso rasch wie sein Lösungsmittel steigen dürfte [1]). Gilt es nicht die Pflanze längere Zeit am Leben zu erhalten, so ist es für den Ausfall der meisten Versuche gleichgiltig, ob der angewandte Farbstoff oder das Salz für die Pflanze giftig sei oder nicht. Die vorsichtige Auswahl unschädlicher Farbstoffe für die Versuche mit abgeschnittenen Pflanzentheilen hätte füglich meist unterbleiben können und geschah nur unter dem Einfluss des Gedankens, dass die leben-

---

1) Vergl. Sachs, Verhalten färbender und nichtfärbender Lösungen im Fliesspapier, Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, 1882, p. 162.

digen Elemente des Holzkörpers in die Leitungsarbeit eingreifen. Hingegen kommt es bei der Wahl des Farbstoffes auf seine Steigfähigkeit, verbunden mit einem hinreichend hohen Grad von Tinctionsfähigkeit, an. Letztere Eigenschaft ist leicht an entsprechenden Querschnitten des Pflanzenkörpers, die in die Farblösung gelegt werden, zu prüfen; die Steigfähigkeit bestimmte ich mit Fliesspapier nach der Sachs'schen Methode. Sachs zeigte [1]), dass verschiedene Farbstoffe, die man durch Fliesspapier emporsaugen lässt, verschieden weit hinter ihrem Lösungsmittel zurückbleiben, weil sie demselben mit ungleicher Energie von den Pflanzenhäuten entzogen werden. Es galt also, für Steigversuche in Pflanzen denjenigen Farbstoff auszuwählen, der die erste Eigenschaft, eines hinreichenden Tingirens der Bahnen, mit derjenigen des möglichst geringen Zurückbleibens hinter seinem Lösungsmittel verbindet. Von den zahlreichen Farbstoffen, die ich prüfte, bewährte sich die schon vielfach angewandte Eosinlösung am besten, so dass ich mich zuletzt fast ausschliesslich derselben bediente. Zur Prüfung der Steigfähigkeit in Fliesspapier dienten Glascylinder [2]), mit Glasplatten bedeckt, an welchen der Fliesspapierstreifen befestigt war, der mit seinem unteren Ende in die Lösung tauchte. Die erhaltenen Werthe gelten natürlich nur für die angewandten Concentrationsgrade, denn, wie Sachs bereits zeigte, nimmt die Steighöhe für den Farbstoff mit der Concentration der Lösung zu [3]). Ich pflegte die Concentration meiner Farbstofflösungen so zu wählen, dass dieselben in 10 cm dicker Schicht noch durchscheinend blieben, eine Angabe, die für den vorliegenden Zweck genügen mag. Bei allen den angestellten Versuchen stieg die Lösung zunächst sehr schnell, dann immer langsamer in dem Fliesspapierstreifen empor.

In einem concreten Falle, den ich hier auswähle, betrug die Steighöhe, in geschlossenen Glascylindern, bei 19—19,5 ° C, in schwedischen Fliesspapierstreifen von ca. 5 cm Breite:

---

1) Verhalten färbender und nichtfärbender Lösungen im Fliesspapier, Arbeiten des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, 1882, p. 157.

2) Vergl. Sachs, l. c. p. 160.

3) l. c. p. 161.

	in einer Stunde	in zwei Stunden
für Wasser	18,5 cm	24,5 cm
für Eosin	8—9 cm	11,0 cm
für Wasser	18,5 cm	24,5 cm
für Methylgrün (unbekannter Herkunft)	1,2 cm	1,6 cm (in hellerem Ton bis 3 cm)
für Wasser	18,5 cm	24,5 cm
für Methylgrün (von Dr. Grübler)	0,5 cm	1,0 cm (in hellerem Ton bis 2 cm)
für Wasser	18,5 cm	24,5 cm
für Fuchsin	0,6 cm	1,0 cm
(verschwommen hellrosa bis	3,5 cm	3,7 cm)
für Wasser	18,7 cm	25 cm
für Methylenblau	1,0 cm (0, 8—0, 9)	1,0 cm (1,3)

Die Ergebnisse der anderen Versuche wichen nur ganz unbedeutend von diesen ab.

Noch wesentlich günstiger als für Eosin gestalteten sich die Steighöhen für das Nigrosin und für das Fluorescin. Namentlich das letztere blieb nur unbedeutend hinter dem Wasser zurück. Diese beiden Farbstoffe gehören zu denjenigen, die äusserst schwach von den Pflanzenhäuten fixirt werden, und daraus erklärt sich eben ihr rasches Aufsteigen. In unseren Versuchen waren sie nicht zu brauchen, da sie die Gefässwände völlig ungefärbt lassen. — Würden nun die Farbstoffe in dem Holzkörper dem Lösungsmittel in dem gleichen Verhältniss wie im Fliesspapier folgen, so müsste das Eosin hinter dem Wasser um mehr als die Hälfte, das Methylenblau und das Fuchsin um das 18- bis 30 fache des Weges zurückbleiben. Innerhalb der röhrenförmigen Wasserbahnen der Pflanzen gestalten sich die Verhältnisse für den Farbstoff jedoch wesentlich günstiger, weil er da von dem Wasserstrom mitgerissen wird; dass trotzdem die Wahl von Fuchsin und Methylenblau für Steigversuche nicht zu empfehlen ist, liegt auf der Hand, und hatte ich bei Parallelversuchen vielfach Gelegenheit zu constatiren, dass beide auch innerhalb der Wasserbahnen des Pflanzenkörpers bedeu-

tend hinter dem Eosin zurückbleiben. Wie sich die Steighöhe für letzteres im Innern des Pflanzenkörpers ergiebt, prüfte ich durch Vergleich mit zweiprocentiger Lithiumsalpeterlösung. Dass in Fliesspapierstreifen der Lithiumsalpeter ebenso rasch wie im Lösungsmittel aufsteigt, hat Sachs gezeigt[1]) und zugleich erwiesen, dass der Lithiumsalpeter ohne Schaden von der Pflanze ertragen wird[2]). Jedes Bedenken gegen die Anwendung desselben, als normaler Vergleichslösung, musste somit von vorn herein ausgeschlossen sein. Um die Fehler andererseits zu beseitigen, die ein plötzliches Einsaugen der Lösung durch die Schnittfläche des Versuchobjectes veranlasst hätte, wurden die Zweige unter Wasser von dem Stamme abgeschnitten und dann zunächst 1 Stunde lang in Wasser stehen gelassen. Die durch negativen Druck innerhalb der Gefässe veranlasste Saugung dürfte nach jener Zeit aufgehört haben. Nunmehr wurden die Zweige in die Lithiumsalpeterlösung, beziehungsweise in die Eosinlösung gestellt und unter sonst gleichen Bedingungen beobachtet. Die Steighöhe bestimmte ich in gleichen Zeitabschnitten durch Untersuchung der Gelenkpolster in verschiedener Höhe inserirter Phyllodien bei Acacia Horibunda. Die Eosinfärbung zeigte sich in den Gefässbündeln unmittelbar an, das Lithiumsalz wurde spectroskopisch nachgewiesen. Sachs hatte für bewurzelte Pflanzen von Albizzia lophantha, die er mit 2 % Lithiumsalpeter-Lösung begoss, bei günstigen Transpirationsbedingungen eine Steighöhe bis zu 2 m für die Stunde gewonnen. Bei Acacia floribunda, mit ihren auf lederartige Phyllodien reducirten Transpirationsflächen, war von vorn herein eine geringere Steighöhe zu erwarten, dieselbe schwankte auch in den sechs Versuchen, die ich mit Lithiumsalpeter, bei einer Temperatur von 20 bis 22° C, an einem Südfenster, doch bei bewölktem Himmel, in den Nachmittagsstunden des 14. und 15. Mai, anstellte, nur zwischen 80 bis 100 cm die Stunde. Die Controlzweige in Eosinlösung gaben gleichzeitig eine Steighöhe zwischen 60 und 80 cm an. Es konnte also thatsächlich das Eosin nur etwa um ein Fünftel, nicht wie im Fliesspapierstreifen um die Hälfte des Weges, hinter seinem Lösungsmittel zurückgeblieben sein. Meine Versuchszweige waren bis 2 m

---

1) l. c. p. 162.
2) Ebendas. p. 163.

lang. In solchen 2 m langen Zweigen erreichte das Eosin in $2^1/_2$ bis 3 Stunden den Gipfel. Als ich, nach Erneuerung der Schnittflächen, Zweige, in welchen das Lithiumsalz bis in die obersten Gelenkpolster gelangt war, in Eosinlösung, und umgekehrt Zweige, in denen die Eosinlösung die obersten Gelenkpolster eben erreicht hatte, in das Lithiumsalz stellte, konnte ich nach annähernd derselben Steigungszeit, wie zuvor, das Eosin in den mit Lithiumsalz durchtränkten und das Lithiumsalz in den mit Eosin tingirten Gelenkpolstern nachweisen. Die vorausgegangene Aufnahme des einen Körpers verhinderte nicht die Aufnahme des andern; die Bahnen hatten durch die vorausgegangene Aufnahme nicht gelitten, der Transpirationsstrom war nicht einmal in merklicher Weise verlangsamt worden.

Ganz ebenso rasch wie das Lithiumsalz stieg auch eine zweiprocentige Lösung von gelbem Blutlaugensalz auf, die in den Gelenkpolstern der Phyllodien mit Eisenchlorid als Turnbull's Blau nachgewiesen wurde. Nicht minder gelang es weiterhin, in den mit gelbem Blutlaugensalz imprägnirten Zweigen, ohne nachweisbare Verzögerung, das Eosin, und umgekehrt in den mit Eosin gefärbten Zweigen, das gelbe Blutlaugensalz steigen zu lassen. Die Bedenken, die Bokorny gegen die Anwendung von gelbem Blutlaugensalz ganz allgemein äussert [1]), sind jedenfalls für derartige Versuche, wie die oben angeführten, unbegründet.

Blieb das Eosin bei raschem Aufstieg nur um ca. ein Fünftel des Weges hinter seinem Lösungsmittel zurück, so gestaltete sich das Verhältniss wesentlich ungünstiger dort, wo die Verdunstung bedeutend herabgesetzt und der Transpirationsstrom dadurch verlangsamt war. Bei langsamem Aufstieg wird das Eosin in den Leitungsbahnen eben nicht mitgerissen und in weit grösserer Menge von den absorbirenden Gewebstheilen dem Wasser entzogen. Dieses darf bei Versuchen mit entlaubten Pflanzentheilen beispielsweise nicht ausser Acht gelassen werden.

Ich habe mich bei der Aufzählung der Farbstoffe, die ich auf ihre Steigfähigkeit in Fliesspapier prüfte, auf wenige, die für die Versuche an Pflanzen besonders in Betracht kamen,

---

1) Die Wege des Transpirationsstromes in den Pflanzen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXI, p. 471.

beschränkt, verweise im Uebrigen auf die inzwischen erschienenen Untersuchungen von Goppelsroeder, welcher die meisten bekannten Farbstoffe auf ihre Fähigkeit in den Pflanzen aufzusteigen, geprüft hat [1]). Goppelsroeder fand, dass am besten die Lösungen von Azosäurerubin, Eosin, Naphtolgelb, Phloxin und Pikrinsäure in den Pflanzen aufsteigen. In zweiter Linie kommen die Lösungen von Auramin, Brillantponceau, Echtroth, Naphtolorange, Orange D und Wasserblau. Weniger steigen auf Bleu surfin, Brillantorange, Chinolingelb, Indigocarmin, Methylenblau und Vesuvin. Nur gering zeigte sich das Steigvermögen von Anilinblau, Congoroth, Krystallponceau, Krystallviolett, Fuchsin und Ponceau R. R. Es stiegen fast gar nicht oder nur sehr wenig Aethylgrün, Bordeauxroth extra, Corallin, Methylgrün und Neuvictoriagrün, sowie der Lackmusfarbstoff und die in Suspension befindlichen Anthracenfarbstoffe, Alizarin, Purpurin, Alizarinblau und Nitroalizarin. Ueberhaupt ohne Erfolg blieben Versuche mit Azoblau, Blauschwarz, Echtblau, Echtviolett, Lichtgrün, Wollschwarz und mit dem Anthragollol [2]).

Ich kann den Angaben von Goppelsroeder gemäss bestätigen, dass Naphtolgelb- und Phloxin-Lösungen in den Pflanzen gut steigen, doch färben sie die Bahnen weniger intensiv und stehen aus diesem Grunde dem Eosin entschieden nach. Sehr gut steigt und färbt Pikrinsäure, differenzirt aber die Bahnen nicht scharf, da es sich rasch über die umgebenden Gewebe verbreitet.

Aus Gründen, die später genannt werden sollen, sah ich mich auch veranlasst, Steigversuche bei Pflanzen mit alcoholischer Eosinlösung anzustellen. Ich benutzte hierzu Eosin, das als spirituslöslich bezeichnet, von Dr. Grübler in Leipzig bezogen wurde. In 96% Alcohol gelöst, stieg dieser Farbstoff im Fliesspapierstreifen unter denselben Bedingungen, wie sie für die wässrigen Farbstofflösungen zuvor gegeben waren, bei

---

1) Ueber Capillar-Analyse und ihre verschiedenen Anwendungen sowie über das Emporsteigen der Farbstoffe in den Pflanzen. Separat-Abdruck aus den Mittheilungen der Section für chemische Gewerbe des k. k. technologischen Gewerbe-Museums, Wien 1889, p. 46.

2) l. c. p. 57.

einem Versuche, der gleichzeitig mit jenen ausgeführt wurde, über die ich zuvor eingehend berichtete:

	in einer Stunde	in zwei Stunden
Alcohol	15,5 cm	20 cm
Eosin	15,5 cm	20 cm

In einem Worte, der Farbstoff stieg hier ebenso rasch wie das Lösungsmittel, dieses Lösungsmittel selbst blieb aber hinter der Steighöhe des Wassers in den Versuchen mit wässrigen Farbstofflösungen in der ersten Stunde um 3 cm, nach zwei Stunden um 4,5 cm zurück. Ebenso war auch in anderen Versuchen die Steighöhe des Alcohols im Fliesspapier stets geringer als diejenige des Wassers, wenn auch die Differenz unter Umständen nur um Weniges geringer.

Die Versuche, mit Salz- und Farbstofflösungen die Bahnen des aufsteigenden Wasserstromes in den Pflanzen zu bestimmen, greifen in das vorige Jahrhundert zurück und haben eine umfangreiche Litteratur aufzuweisen. Ich versuchte es, derselben zu folgen, um bereits erkannte Fehler zu vermeiden und die aus den Versuchen sich ergebenden Aufgaben in ihrem ganzen Umfang kennen zu lernen. Diese ganze Litteratur vorzuführen ist aber wohl heut kaum nöthig und könnte nur ermüdend wirken, um so mehr, als vielfach das bereits Sichergestellte unbeachtet blieb und alte Fehler von neuem gemacht wurden. Ich beschränke mich daher in der geschichtlichen Einleitung vornehmlich nur auf die ältesten Angaben.

Peter Magnol, Professor in Montpellier, scheint der erste gewesen zu sein [1]), der es, um 1709, versuchte, gefärbte Flüssigkeiten durch Pflanzen aufsaugen zu lassen. In einer Tuberose, die er mit dem Stiel in Phytolacca-Saft gesetzt hatte, stellte er auch die Rothfärbung der Blüthe fest. Im Jahre 1733 gab hierauf de la Baisse [2]) an, dass der Phytolacca-Saft, in welchen er seine Versuchspflanzen gestellte hatte, nur im Holzkörper derselben aufgestiegen sei. Durch den Holzkörper habe dieser Saft seinen Weg weiter bis in die Nerven der Blätter

1) Histoire de l'Acad. d. sc. d. Paris, 1709.

2) Dissertation sur la circulation de la sève dans les plantes par M. de la Baisse, Recueil des Dissertations qui ont remporté le prix de l'Académie royale des belles lettres, sciences et arts de Bordeaux, T. IV. Der wahre Name von de la Baisse war Sarrabat.

und in die Petala gefunden. Dann bot Bonnet [1]) verschiedene „Liqueurs“ Aprikosenblättern und fand, dass sie Rothwein, Branntwein, Spiritus, Eau des Carmes aufnehmen und durch diese in ihren Nerven braun gefärbt werden [2]). Bonnet liess dann Tinte in etiolirten Erbsenpflanzen aufsteigen und constatirte die Färbung der Fibrovasalstränge, die er als „paquets de fibres ligneuses“ bezeichnet. Auch Zweige von Pfirsich, Eiche, Haselnuss, Kirschlorbeer, Aprikosenbaum, Pappel, Birnbaum, Holunder, Weinstock wurden in Tinte gestellt. In allen Fällen zeigte sich der Holzkörper gefärbt, und zwar in den äusseren Theilen stärker als in den inneren [3]). Ganz entsprechende Resultate ergaben die Versuche mit Wurzeln und auch die Anwendung anderer Farbstoffe. Auch in den Versuchszweigen, welchen Duhamel du Monceau [4]) Farbstofflösungen zur Aufnahme bot, stiegen diese nur in dem Holzkörper [5]). „Ich glaube“, so schliesst Duhamel du Monceau [6]), „dass nach den Beobachtungen von Bonnet, von de la Baisse und den meinigen, es als erwiesen gelten wird, dass der Nahrungssaft in den Pflanzen nur in den Holzfasern steigt und dass er in Bäumen und Sträuchern sich nur im Holzkörper erhebt. Diese zwischen dem Mark und der Rinde eingeschlossenen Kanäle verbreiten sich aufsteigend in allen Gebilden der Pflanze.“ In demselben Jahr, in welchem Duhamel du Monceau seine Beobachtungen veröffentlichte, suchte Reichel [7]) bereits den Nachweis zu führen, dass die Gefässe allein die Bahnen des rohen Nahrungssaftes seien. Dass aber die Wasserbewegung innerhalb der Stammtheile bei den Pflanzen an den Holzkörper gebunden sei, das war bereits endgiltig auf verschiedenen Wegen seit 1727 durch die classischen Versuche von Hales [8]) festgestellt. Anders lautende Angaben, welche weiterhin oft noch folgten und auch heut noch

1) Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes, 1754.

2) l. c. p. 248.

3) l. c. p. 261.

4) La physique des arbres, 1758.

5) l. c. p. 282.

6) l. c. p. 292.

7) De vasis plantarum spiralibus, 1758.

8) Statical essays: containing vegetable statics; or, an account of some statical experiments on the sap in vegetables, Ed. I, 1727.

folgen, konnten und können somit nur noch wenig Anspruch darauf erheben, die Probleme des Saftsteigens in der Pflanze gefördert zu haben. So vor Allem nicht die letzten Publicationen von Bokorny, die zu dem Ergebniss geführt haben wollen: dass ausser den Gefässen, die „vorzüglich leiten", und den Tracheïden, wahrscheinlich die Holzparenchymzellen, öfters das Sklerenchym, bisweilen der dünnwandige Bast, in vielen Fällen das Collenchym und in einzelnen Fällen auch die Epidermis der raschen Fortleitung des Wassers in den Pflanzen dienen[1]). Damit war Bokorny auf den Standpunkt annähernd zurückgekehrt, den seinerzeit Hoffmann[2]) eingenommen hatte. Dazwischen waren freilich zahlreiche Arbeiten, so vornehmlich diejenigen von Sachs erschienen, welche solche Schlussfolgerungen definitiv hätten ausschliessen sollen. Sachs hatte ausdrücklich auf die Fehlerquellen hingewiesen[3]), die mit der Anwendung färbender Lösungen, wie das schwefelsaure Anilin, verbunden sind; auf diese Fehlerquellen galt es daher ganz besonders zu achten, wenn trotzdem der Weg solcher Versuche betreten werden sollte. Bokorny lässt sich aber selbst durch den Umstand nicht warnen, dass in seinen Versuchen, abgesehen von den Gefässen, die nämlichen Gewebe in sonst übereinstimmend gebauten Pflanzen, sich das eine Mal als scheinbar leitend, das andere Mal als nicht leitend erwiesen. Soweit die Beobachtungen und die Angaben Bokorny's richtig sind, verlangen dieselben aber eine andere Deutung. Bokorny schliesst bei Pflanzen, die er Eisensulfat aufnehmen liess, auf die Leitungsfähigkeit einzelner Gewebsschichten aus dem Umstand, dass dieselben mit Ferricyankalium sich blau färben lassen, während das umgebende Gewebe farblos bleibt. Hätte nun aber Bokorny, wie es nahe lag, und wie er es nach dem Vorbild von Sachs[4]) hätte thun sollen, die scheinbar leitenden Gewebe unterbrochen und so von der directen Zufuhr der Eisenlösung abgeschnitten, so

1) Die Wege des Transpirationsstromes in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXI, p. 496.

2) Ueber die Organe der Saftbewegung, Bot. Ztg. 1850, Sp. 858.

3) Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstromes in transpirirenden Pflanzen, Arb. des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, 1882, p. 149 ff.

4) l. c. p. 150.

hätte er nichtsdestoweniger, bei richtiger Anstellung des Versuchs, deren nachträgliche Färbung mit Ferricyankalium constatiren können. — Ringelt man beispielsweise Delphinium-Pflanzen, so dass ein Theil oder dass alle Sklerenchymbelege an der Aussenseite der Gefässbündel unterbrochen werden, und stellt die Pflanzen in 1 $^0/_{00}$ Eisensulfatlösung, so geben die Sklerenchymbelege oberhalb der Ringelung nichtsdestoweniger nach einiger Zeit Eisenreaction. Die vorsichtig auszuführenden Quer- und Längsschnitte, in Ferricyankalium eingelegt, zeigen, am besten nach Zusatz von etwas Salzsäure, zunächst Bläuung der Gefässtheile, weiterhin auch eine, von den Gefässtheilen deutlich ausgehende Bläuung der Sklerenchymfasern. Der Siebtheil der Gefässbündel bleibt dabei ungefärbt, er nimmt erst Färbung an, wenn die Pflanze längere Zeit in der Eisenlösung gestanden hat. Derselbe Versuch lässt sich noch bequemer mit wässriger Methylgrünlösung ausführen, von der Bokorny rühmt, dass sie ganz besonders unter den Farbstoffen zu Versuchen über den Gang des Transpirationsstromes sich eigne [1]). Wir haben zwar gesehen, dass das Methylgrün in Fliesspapierstreifen an Steigfähigkeit sehr bedeutend hinter dem Eosin zurückbleibt [2]), doch hat es die gute Eigenschaft, die hier in Betracht kommt, nur die verholzten Zellwände zu färben. Ringelt man nun den Stengel etwa einer stärkeren Delphinium-Art in der Weise, dass die Sklerenchymfaserbelege an der Aussenseite der Gefässbündel entfernt werden und nur die Gefässbündel selbst unversehrt bleiben, und stellt sie in wässrige Methylgrünlösung, so findet man nichtsdestoweniger, nach ca. 24 Stunden oder später, über der Ringelungsstelle nicht nur die trachealen Bahnen der Gefässbündel, sondern auch die Sklerenchymfaserbelege derselben tingirt. Die Färbung ist auf die dem Gefässbündel zugekehrte Seite des Sklerenchymfaserstranges beschränkt, und bleibt es auch dauernd. Man sieht deutlich, dass sie vom Gefässbündel ausgeht, und nichtsdestoweniger ist sie von demselben durch den völlig farblos gebliebenen Siebtheil getrennt.

---

1) Weitere Mittheilungen über die wasserleitenden Gewebe, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXI, p. 517. Dasselbe gaben bereits Cornu und Mer an, Recherches sur l'absorption etc., Sep.-Abdr. p. 12.

2) Es rangirt bei Goppelsroeder unter den schlecht aufsteigenden Farbstoffen.

Erst nach tagelanger Dauer des Versuches färbt sich auch dieser in hellen Tönen. Um festzustellen, dass wirklich die Färbung des Sklerenchymstranges auch dann erfolgt, wenn derselbe an der Ringelungsstelle unterbrochen war, gilt es, letztere eingehend zu untersuchen. Zugleich wird man dann feststellen, dass an solchen Gefässbündeln, deren Gefässtheil an der Ringelungsstelle gelitten hat und sich mit Luft füllte, also auch Farbstoff nicht aufwärtsführte, der Sklerenchymfaserbelag ebenfalls ungefärbt blieb. Bei längerer Dauer des Versuches beginnt sich auch das Markgewebe an der Innenseite der Gefässbündel von den Gefässtheilen aus zu färben, und springt die Färbung in der Folge mehr oder weniger tief in das Mark vor. Dass die Grenze dieser Färbungen nur durch die Zufuhr vom Gefässbündel aus und nicht durch die Tinctionsfähigkeit der Elemente bestimmt wird, zeigt jeder Querschnitt durch den Stengel, der in Methylgrünlösung eingelegt wird. Es färben sich alsdann sofort alle Sklerenchymfasern der Peripherie und eventuell das ganze Mark bis zur Mitte. — Selbstverständlich schreitet bei ungeringelten Delphiniumstengeln die Färbung von den Gefässtheilen aus in derselben Weise fort und liefern somit auch ungeringelte Pflanzen schon hinreichend instructive Bilder. In jeder Beziehung entsprechend verhalten sich die mit Ferrocyankalium behandelten Schnitte von Pflanzen, die in Eisensalzlösung gestanden, und lehren somit zugleich, dass die Absorption des Eisens in den Membranen von derjenigen des Methylgrüns etwa nur in seiner Intensität abweicht. Bokorny hingegen geht von der Annahme aus, dass das Eisensalz „in der Pflanzenfaser nicht erheblich gebunden werde“, während aus älteren Versuchen von Noll[1]) bereits das Gegentheil folgt. — Sollte wirklich sich nachweisen lassen, dass eine Farbstofflösung oder Salzlösung in anderen Geweben als den trachealen Bahnen mit einer Schnelligkeit aufsteigen kann, welche derjenigen in den trachealen Bahnen sich nähert, so wäre das eine zunächst merkwürdige und weiter zu prüfende Erscheinung, von der aber sich jetzt schon mit Bestimmtheit behaupten lässt, dass sie

---

1) Ueber Membranwachsthum und einige physiologische Erscheinungen bei Siphoneen, Bot. Ztg. 1887, Sp. 475, und Experimentelle Untersuchungen über das Wachsthum der Zellmembranen, Abh. d. Senckenberg. Gesellsch., Bd. XV, p. 110.

mit dem innerhalb der Pflanze sich bewegenden Transpirationsstrome nichts zu thun habe. Alle Behauptungen von Bokorny über ein so rasches Aufsteigen des Wassers in anderen als den trachealen Bahnen der Pflanzen sind freilich mit Vorsicht aufzunehmen. Besonders auffällig erscheint die Angabe über das Wasserleitungsvermögen des Collenchyms in den Blattstielen von Rumex [1]), wo „der Transpirationsstrom“ in den Zellwänden mit der Geschwindigkeit von 1 m pro Stunde unter Umständen „wandern“ soll. Das Auffallende bei dieser Angabe erledigt sich freilich dadurch, dass sie nicht richtig ist. Zu der Wiederholung der Bokorny'schen Versuche diente mir vornehmlich Rumex purpureus Poir. mit seinen über 50 cm langen Blattstielen; zum Vergleich wurden aber auch die von Bokorny genannten Arten, unter diesen besonders Rumex alpinus L. herangezogen. Die Versuche stellte ich zunächst so an, wie es Bokorny gethan hatte. Ich löste die Collenchymstränge von dem Blattstiel etwa 10 cm weit ab, entfernte die inneren Gewebe des Blattstiels und befestigte nun das Blatt so über der Eisenvitriollösung, dass nur die abgetrennten Collenchymstränge in dieselbe tauchten. Nach einer Stunde etwa begannen die Blätter zu welken. In den Collenchymsträngen war kein Eisen nachzuweisen. Dies wollte auch nach 12 Stunden nicht gelingen, so oft ich auch den Versuch wiederholte. Soll der Versuch so, wie ich es angebe, ausfallen, so müssen freilich die Collenchymstränge allein und nicht in Begleitung eines angrenzenden Gefässbündels von dem Blattstiel abgezogen worden sein. Geht man nicht sehr vorsichtig zu Werke, so trennt man meist auch das angrenzende Gefässbündel ab, und dann taucht dieses zugleich mit dem Collenchymstrang in die Lösung ein. In jedem solchen Falle ist dann schon nach kurzer Zeit Eisen in dem betreffenden Collenchymstrang nachzuweisen. Jeder abgezogene Gewebsstreifen, über welchem das Collenchym Eisenreaction giebt, ist somit auf Schnitten zu untersuchen. In allen Fällen ergiebt sich dann die Anwesenheit eines Gefässtheils an demselben. — Umgekehrt wurden alsdann die Collenchymstränge von einer grösseren Anzahl von Blattstielen 5, 10, 15 und selbst

---

1) Das Wasserleitungsvermögen des Collenchymgewebes, Biol. Centralblatt 1890, Bd. X, p. 321.

20 cm hoch abgezogen, entfernt und die Blattstiele mit dem inneren Gewebe in die Eisenvitriollösung gesetzt. Der Erfolg war stets der nämliche; die Collenchymstränge in den oberen Theilen des Blattstiels reagirten alsbald auf Eisen, ungeachtet solches in dem Gewebe zwischen ihnen und dem angrenzenden Gefässbündel nicht nachzuweisen war. Da die Collenchym-Zellwände hier äusserst begierig das Eisen an sich reissen, so muss noch besonders darauf geachtet werden, dass nicht erst nachträglich von den Gefässtheilen aus, beim Ausführen der Schnitte oder dem Einlegen derselben in das Reagens, Eisen zu den Collenchymsträngen gelange. Bei der grossen Empfindlichkeit der angewandten Reaction genügt oft die Berührung mit der Hand oder scheinbar reinen Instrumenten und Apparaten, um die Färbung in Ferricyankalium nach Zusatz von Salzsäure stellenweise hervorzurufen. — Wenn man an einem Blatte, das in Eisenvitriollösung gestanden, den Blattstiel quer durchschneidet und die Schnittfläche einem mit Ferricyankalium mässig imbibirten Fliesspapierstreifen aufdrückt, so reicht, wie nachträgliche Schnitte zeigen, die Blaufärbung innerhalb der Gefässbündel etwa 1 cm, innerhalb der Collenchymstränge kaum 1 mm weit hinauf. — Werden Blätter längere Zeit in Eisenvitriollösung belassen und hierauf in Ferricyankalium gestellt, so reicht die Färbung der Gefässbündel alsbald bis in die Spreite, während sie in den Collenchymsträngen viel früher aufhört. In einem concreten Falle, in welchem ein solches Blatt, mit 50 cm langem Blattstiel, blaugefärbte Gefässbündel bis in die Blattspreite hinein aufwies, hörte die Reaction der Collenchymstränge schon in 20 cm Höhe auf. Die nähere Untersuchung zeigte, dass auch die peripherischen Gefässbündel des Blattstiels von dieser Höhe an ungefärbt blieben und die Färbung sich auf die inneren Gefässbündel beschränkte. Also auch in diesem Falle reichte das Eisen nur so weit in die Collenchymstränge herauf, als es in den angrenzenden Gefässbündeln heraufgeführt worden war. — Mit der von Bokorny gelieferten Beweisführung für die Bewegung des Transpirationsstromes innerhalb anderer als der trachealen Bahnen sieht es somit nicht besonders aus und somit auch nicht besser mit den für die Wasserleitung innerhalb der Zellwände beigebrachten Daten. Daher seine Unterstützung auch von derjenigen Seite

abgelehnt wird [1]), auf welcher, auf Grund ernster und berechtigter wissenschaftlicher Erwägung, die Zellwände der leitenden Gewebe als die Wasserbahnen gelten.

Wenn ich nach all dem Vorausgeschickten noch eigene Versuche über das Aufsteigen von Salz- und Farbstofflösungen innerhalb der Pflanze angestellt habe und hier mittheile, so geschieht dies also mit dem vollen Bewusstsein der Fehlerquellen, welche solche Versuche in sich schliessen. Sie gewannen für mich auch nur Bedeutung als Glieder in der Kette anderweitiger, ausgedehnter Untersuchungen, und wurden sie von diesen aus dauernd kritisch controlirt. Bei solcher Einschränkung dürfte die Mittheilung derselben nicht ohne allen Werth sein.

Ich habe zuvor schon darauf hingewiesen, dass die Versuche, durch unverletzte Wurzeln Salz- und Farbstofflösungen in die Pflanze aufnehmen zu lassen, ihre Bedeutung behalten, auch dann, wenn es sich erweist, dass die Wurzeln bei dieser Aufnahme gelitten haben. Soweit meine Erfahrungen reichen, ist dies bei Farbstoffen stets der Fall, wenn die Aufnahme so stark gewesen, dass sich der Farbstoff direct in den Gefässbahnen nachweisen lässt. Dasselbe gilt für die Aufnahme von Blutlaugensalz und nicht minder auch von Eisenvitriol. Solange die Wurzeln völlig gesund sind, gelangen diese Körper, wenn überhaupt, nur in äusserst geringen Mengen in die Gefässbahnen; die lebendigen Zellen der Wurzeln verweigern die Aufnahme einer grösseren Menge derselben. Ist die eine oder die andere Wurzelspitze im Absterben begriffen oder bereits todt, so hört ihr lebendiger Widerstand auf, und die Gefässbahnen saugen die Lösung wie aus einem Schwamme aus den umgebenden Parenchymen auf. Im Innern der Pflanze zeigen sich die lebendigen Elemente, welche die Gefässe umgeben, durchaus nicht mehr in dem Maasse gegen die Aufnahme schädlicher Stoffe geschützt, wie die Wurzelzellen, und während letztere längere Zeit diesen Stoffen widerstehen, verbreiten sich die einmal in die Pflanze aufgenommenen Lösungen sehr rasch in den Geweben, um in den Wänden derselben, nach Maassgabe ihrer

1) A. Hansen, Besprechung von Th. Bokorny's Arbeit über die Wege des Transpirationsstromes in der Pflanze, Flora 1890, p. 270.

Absorptionsfähigkeit, festgehalten und endlich auch in den getödteten Zellkörpern aufgespeichert zu werden. Ist letzteres geschehen, so kann man den Weg, welchen der Farbstoff oder das Salz von den trachealen Bahnen aus nach anderen mit absorbirenden Wänden versehenen Zellcomplexen zurückgelegt hat, leicht verfolgen, nicht so, wenn das zwischenliegende Gewebe noch lebendig ist und nicht absorbirende Wände besitzt. Uebrigens bilden sich auch weiterhin vielfach nur einzelne quere Bahnen aus, von welchen die Substanz sich über die absorbirenden Zellwände verbreitet, und zeigen dann eben nur bestimmte Präparate den bestehenden Zusammenhang, während in anderen die reagirenden Zellstränge dauernd isolirt erscheinen. Die nachtheiligen Wirkungen des gebotenen Stoffes können, von den trachealen Bahnen aus, in den inneren Geweben der Pflanze schon weit um sich gegriffen haben, während die Pflanze äusserlich sich noch ganz unverändert zeigt. Dieser Umstand hat oft zu der Annahme einer Unschädlichkeit des gebotenen Stoffes geführt und veranlasst, die im Innern der Pflanze beobachteten Erscheinungen für normale zu halten.

Aus der grossen Zahl angestellter Versuche greife ich zur Veröffentlichung nur diejenigen heraus, die mir besonders instructiv erscheinen. Die Zahl derselben bleibt immerhin noch ziemlich beträchtlich. Die Auswahl der Versuchsobjecte wurde auf Grund der im ersten Theile dieser Arbeit gesammelten Erfahrungen vorgenommen. Die genaue Bekanntschaft mit dem Bau gestattete dann auch wohl für Abweichungen im Verhalten die anatomische Ursache anzugeben.

Um Wiederholung nach Möglichkeit zu vermeiden, schicke ich hier voraus, dass ich die für die Steigeversuche ausgewählten Zweige, Aeste oder Schäfte, soweit irgendwie möglich, unter Wasser von dem Mutterstamm, respective von der Wurzel trennte, oder, wo dies unmöglich war, während des Absägens die Schnittfläche unter einem kräftigen Wasserstrom hielt. Für alle Fälle wurde alsdann die Schnittfläche unter Wasser erneuert und das Versuchsobject mindestens eine halbe Stunde lang im Wasser stehen gelassen, bevor es in die wässrige Eosinlösung kam. So dürften wohl in den meisten Fällen Eosin-Injectionen durch Luftdruck vermieden worden sein.

Bei länger andauernden Versuchen wurde zugleich darauf Rücksicht genommen, dass die Aufnahmefähigkeit der Zweige

für Wasser rasch abnimmt, wenn nicht bestimmte Vorsichtsmaassregeln eingehalten werden. Wie v. Höhnel zeigte [1]), wird diese schon Hales [2]) bekannte Erscheinung vornehmlich dadurch bedingt, dass einerseits schleimige Substanzen aus den angeschnittenen Zellen hervortreten und sich über die Schnittfläche verbreiten, andererseits Bakterienschleim alsbald hinzukommt, beide aber die Gefässbahnen verstopfen. Dem ersten Uebelstand suchte ich nun dadurch zu begegnen, dass ich von der dargestellten Schnittfläche nach einiger Zeit nochmals unter strömendem Wasser Lamellen abtrug und erstere gut spülte; dem anderen Uebelstand beugte ich durch Zusatz antiseptischer Stoffe wie Campher oder Carbolsäure vor, falls die der Pflanze gebotenen Lösungen nicht an sich schon giftig waren. Durch solche giftige Stoffe war auch gleichzeitig der Thyllenbildung oder einem anderen auf Lebensvorgängen beruhenden Abschluss der Bahnen vorgebeugt. Selbst durch Einhaltung aller dieser Vorsichtsmaassregeln lässt sich aber bei längerer Dauer der Versuche eine Abnahme der Filtrationsfähigkeit in den trachealen Bahnen nicht verhindern. Mit den aufgenommenen Lösungen gelangen eben stets auch fremde Körper in das Versuchsobject, und schon die geringsten Mengen derselben reichen zur Verstopfung der Hoftüpfel aus. Jede verstopfte Scheidewand setzt aber die Leistungsfähigkeit der ganzen betreffenden Bahn herab. Durch Erneuerung der Querschnitte lässt sich dem Uebelstande bekanntlich theilweise abhelfen, und wurden denn auch meine Versuchsobjecte annähernd täglich an ihrem unteren Ende um einen oder selbst einige Centimeter gekürzt. Wieler [3]) suchte neuerdings zu zeigen, dass sich Gummibildung in abgeschnittenen Zweigen schon nach wenigen Stunden einstellen und die Bahnen verstopfen kann. Es soll dies erfolgen können, bevor die Farbstofflösung die betreffende Stelle erreicht. Ich habe auf diese Fehlerquellen auch stets geachtet; es zeigte sich aber, dass sie bei meinen unter Wasser abgeschnittenen oder

1) Ueber die Ursache der raschen Verminderung der Filtrationsfähigkeit von Zweigen für Wasser, Bot. Ztg. 1879, Sp. 302.

2) Statik der Gewächse, Deutsch. Uebers. 1748, p. 71.

3) Ueber den Antheil des secundären Holzes der Dicotyledonengewächse an der Saftleitung und über die Bedeutung der Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Flächen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 106.

doch fast momentan in Wasser eingesetzten Versuchsobjecten kaum störend eingriffen. Der Eintritt von Luft in die trachealen Bahnen fördert solche Erscheinungen, und dieser Lufteintritt musste reichlich in die Wieler'schen Zweige erfolgt sein, die bei freiem Zutritt der Luft abgeschnitten und eine Zeit lang durch die Luft getragen wurden [1]).

Ich habe in den anatomischen Theilen zu zeigen gesucht, dass der Holzkörper der Akazien, sowie derjenige der Albizzien, im secundären Zuwachs nur von Holzparenchym umgebene Gefässe, Holzfasern und Markstrahlen führt. Die wässrige Eosinlösung folgte in allen in dieselbe eingestellten Zweigen von Acacia floribunda nur den Gefässbahnen. Wurde der Versuch nicht allzu lange ausgedehnt, so erschienen auf Querschnitten durch Stammtheile nur die Gefässwände und das dieselben umgebende Holzparenchym, sowie an die Gefässe anstossende Markstrahltheile gefärbt. Alles übrige Gewebe im Holzkörper, sowie der gesammte Bast blieben ungefärbt. Besonders möchte ich hervorheben, dass die stark verholzten und ziemlich stark verdickten Holzfasern in keinem Falle auch nur die Spur einer Färbung zeigten. So drang auch von der unteren Schnittfläche aus nur sehr wenig Eosin in die Wände der Holzfasern ein. An Zweigen, die seit 48 Stunden in der Lösung standen, war der Farbstoff in den Holzfasern kaum über 0,5 mm aufgestiegen. Um sich aber davon zu überzeugen, dass das Eosin rasch und intensiv die Wände dieser Holzfasern färbt, genügt es, einen Querschnitt durch den Holzkörper für wenige Augenblicke in einen Tropfen derselben Eosinlösung, die zu den Versuchen diente, zu legen. An mehrjährigen Zweigen, die zur Verwendung kamen, erschienen die Gefässe nur der letzten Jahreszonen gefärbt. So führten an einem anscheinend fünf Jahre alten Zweige, von 12 mm Durchmesser, nur noch die Gefässe und das sie umgebende Holzparenchym der drei letzten Zuwachszonen Farbstoff, hingegen erschienen ungefärbt und mit Schutzgummi erfüllt die Gefässe der zwei innersten Zuwachszonen. An ein- bis zweijährigen Zweigen sind auch die den primären Gefässtheilen zugehörigen Schraubentracheïden intensiv tingirt, ja, man kann feststellen, dass sie es sind, die sich in den Ver-

1) l. c. p. 107.

suchen zuerst färben, in ihnen somit der Strom am raschesten aufsteigt. Nachdem der Versuch einige Stunden gedauert hat, ist eine Bevorzugung bestimmter Gefässe oder Gefässgruppen innerhalb der leitenden Zone nicht mehr zu constatiren. Entgegen den Angaben von Wieler [1]) waren alle Gefässe in gleichem Maasse an der Leitung betheiligt. — Sehr schön zeigt sich auf medianen Längsschnitten durch tingirte Zweige der Anschluss der Blattspur an den secundären Zuwachs. Nur die gefärbten, von den Gefässen gebildeten Stränge gehen in den Gefässtheil der Blattspur über, und erscheint letzterer dementsprechend intensiv tingirt. Innerhalb der Gelenkpolster, wo Holzfasern wieder hinzukommen, sind dieselben, je nach der Dauer des Versuches, entweder noch ungefärbt oder, soweit sie Farbstoff aus der Umgebung aufgenommen, von mehr oder weniger intensiver Farbe. Die Färbung ist dann innerhalb des Phyllodiums über den Gefässtheil des gesammten Gefässbündelnetzes verbreitet und geht, nach längerer Einwirkung des Farbstoffes, von den Gefässtheilen der Bündel auch auf die Siebtheile und die umgebenden Mesophyllzellen über. Diese werden in demselben Maasse getödtet. Zugleich mit dieser Verbreitung des Farbstoffes in dem Mesophyll erfolgt eine schon für die makroskopische Betrachtung sichtbare Verfärbung desselben; das Phyllodium wird deutlich rothbraun. Sind zu viel Mesophyllzellen zerstört, so hört die Wasseraufnahme durch den Spross fast vollständig auf. Die Phyllodien sterben alsbald ganz ab, beginnen sich unregelmässig einzurollen und vertrocknen. Dieser Zustand ist nach etwa 4 bis 5 Tagen erreicht. Augenscheinlich wirkt das Eosin, nachdem eine gewisse Menge desselben absorbirt wurde, giftig auf den lebendigen Zellinhalt ein; sind aber erst diejenigen Zellen todt, welche innerhalb der transpirirenden Flächen den Gefässbündelenden das Wasser entziehen, so hört die Wasserströmung auf.

Während die Eosinlösung so äusserst günstige Resultate bei ihrem Aufstieg ergab, fielen dieselben ganz unbefriedigend mit Fuchsin- und Methylenblaulösung aus. Ein 1,70 m langer Zweig, dessen unterste Phyllodien in 1,40 m Höhe entsprangen, und der die Eosinlösung in zwei Stunden bis zu seinem obersten Phyllodium heraufbefördert hätte, zeigte sich nach drei Tagen

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 116.

nur bis ca. 50 cm Höhe gefärbt. In einem anderen Zweige von 60 cm Höhe, mit bei 40 cm beginnenden Phyllodien war nach anderthalb Tagen der Farbstoff nur 35 cm hoch im Holzkörper gestiegen. Dabei konnte man, wie in den Wieler'schen Versuchen, constatiren, dass nur ein Theil der Gefässe den Farbstoff führten. Die Zahl solcher tingirter Gefässe nahm nach oben immer mehr ab, um schliesslich ganz zu erlöschen. Dieser Farbstoff wird so stark von den Gefässwänden absorbirt, dass er nur äusserst langsam vordringen kann, wobei wohl schliesslich ein Theil der Bahnen unwegbar wird. Die Phyllodien bleiben an solchen Zweigen tagelang unverändert, weil eben der Farbstoff bis zu denselben nicht gelangt und ihnen daher auch nicht nachtheilig werden konnte. Die starke Entziehung des Fuchsins durch die Gefässwände mag es wohl mit veranlasst haben, dass auch in den von Wieler mit dieser Farbstofflösung angestellten Durchpressungsversuchen ein Theil der Gefässbahnen ungefärbt blieb [1]).

Sehr ähnlich wie mit Fuchsinlösung fielen die Versuche mit Methylenblaulösung aus. Ein 2 m langer, relativ schwach belaubter Zweig, von 1,5 cm Höhe an mit Phyllodien besetzt, zeigte am dritten Tage die Gefässe in 30 cm Höhe nur noch vereinzelt gefärbt. Ein stark belaubter Zweig von 70 cm Höhe, mit Phyllodien von 30 cm an versehen, hatte nach anderthalb Tagen in 15 cm Höhe nur noch vereinzelt gefärbte Gefässe aufzuweisen.

Wie im anatomischen Theile gezeigt wurde, besitzen die Ficus-Arten in ihrem secundären Zuwachs ebenfalls nur Gefässe und keine Tracheïden. Die Gefässe stehen ziemlich weit auseinander im Holzkörper vertheilt, anastomosiren trotzdem seitlich in schrägem Verlauf. Diese ihre Verbindung, sowie der ganze Verlauf der Wasserbahn, lässt sich mit einer wässrigen Eosinlösung sehr schön sichtbar machen. Ich liess eine solche Lösung durch einen kräftigen Ast von Ficus elastica aufnehmen, schnitt hierauf einige kurze Stücke von der Basis dieses Astes ab und liess sie langsam an der Luft trocken werden. Alsdann

1) Wieler hatte in der Fuchsinlösung eben nicht den günstigsten Farbstoff zu seinen Versuchen über Saftleitung (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 86) gewählt; dass dieser Farbstoff schlecht steigt, hatten bereits Cornu und Mer, Recherches sur l'absorption etc., Sep.-Abdr. p. 10, angegeben.

wurde die Rinde von diesen Aststücken entfernt und auf einander folgende, dünne tangentiale Längsschnitte abgetragen. Da sich die Gefässe dunkelroth von den fast ungefärbt gebliebenen übrigen Elementen des Holzkörpers abhoben, so war ihr Verlauf leicht zu verfolgen. Die Gefässe erwiesen sich deutlich als die alleinigen Bahnen der aufsteigenden Farbstofflösung. Der Farbstoff war nach 24 Stunden bis zum Gipfel des mehrfach verzweigten, 5 m langen Astes gelangt. Auch Querschnitte zeigten zunächst fast nur die Gefässe gefärbt, besonders intensiv die an einander stossenden Gefässen gemeinsamen Wände. Bei längerer Dauer des Versuchs beginnt der Farbstoff von den Gefässen aus sich auf die Umgebung zu verbreiten. Die Färbung liess sich bis in die feinsten Nerven der Blätter hinein verfolgen. Dort ging die Färbung alsbald von dem Gefässtheil auf den Siebtheil über, während letzterer im Stamme dauernd ungefärbt blieb. Wird bei der Trennung des Zweiges vom Stamm das Eindringen von Luft in die Leitungsbahnen nicht ausgeschlossen, so zeigt sich weiterhin nur ein Theil der Gefässe gefärbt, derjenige nämlich, welcher Luft nicht eingesogen hatte. Auch in den unter Wasser geschnittenen Zweigen können einzelne Gefässe versagen; die mikroskopische Untersuchung lehrt dann stets, dass sie reich an Luftblasen sind.

Ein solcher Luftgehalt einzelner Abschnitte der Bahnen hat auch jedenfalls den Ausfall der Wieler'schen Versuche[1]), welche dahin führten, dass innerhalb der leitenden Regionen eines Holzes einzelne Gefässbahnen bevorzugt werden, beeinflusst. Da Wieler die Zweige, wie schon erwähnt wurde, bei Zutritt der Luft abgeschnitten hatte und eine Strecke weit frei durch die Luft trug, so musste ein grosser Theil der trachealen Bahnen mit Luft injicirt sein und dadurch seine Leitungsfähigkeit eingebüsst haben. Dazu kam die Anwendung des ungeeigneten, schlecht aufsteigenden Farbstoffes. Anzunehmen, dass die Bevorzugung der einzelnen Bahnen in der Färbung durch „verschieden starke Transpiration der transpirirenden Flächen" veranlasst sei, liegt somit kein Grund vor, ebensowenig als eine solche Ursache

1) Ueber den Antheil des secundären Holzes der dicotylen Gewächse an der Saftleitung und über die Bedeutung der Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Flächen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 116.

für die bevorzugte Tinction einzelner Leitungsbahnen in den Ficuszweigen, die ich an der Luft abgeschnitten hatte, gelten konnte. Die wahre Ursache dieser Erscheinung erklärt es auch, warum Wieler bei seinen Druckversuchen gleichmässigere Färbung der trachealen Bahnen innerhalb der leitenden Zonen als bei den Transpirationsversuchen erhielt.

Robinia Pseudacacia ermangelt auch der Tracheïden, doch besitzt sie weite und enge Gefässe von ziemlich extremem Unterschied des Durchmessers. Die engen Gefässe umgeben die weiten, bilden ausserdem für sich, im Spätholz, besondere Stränge. Lässt man starke Aeste oder ganze Bäume mit dem Querschnitt wässerige Eosinlösung aufnehmen und wartet nicht zu lange mit der Untersuchung, so findet man nur die trachealen Bahnen und die sie unmittelbar umgebenden Holzparenchymzellen gefärbt. Die intensivste Färbung zeigen die engen Gefässgruppen und engen Gefässe, welche die weiteren umgeben. Die engen Gefässgruppen des Spätholzes werden in den drei, ja selbst vier letzten Jahresringen roth, während die Färbung der weiten Gefässe auf den letzten, allenfalls den vorletzten Jahresring sich beschränkt zeigt. Einzelne weitere Gefässe innerhalb der sonst gefärbten Zone bleiben auch wohl farblos. Wie ich schon erwähnte, sind es nicht die Gefässwände allein, sondern auch die parenchymatische Belegschicht der Gefässe, beziehungsweise der Gefässgruppen, welche sich gefärbt zeigt. Ja die Menge des aufgespeicherten Farbstoffes ist meist in den parenchymatischen Zellkörpern grösser als innerhalb der Gefässwände, so dass sie es ist, welche vor Allem die betreffenden Stellen im Bilde markirt. Alles sonstige Gewebe, somit auch die von den Holzfasern gebildete Hauptmasse des Holzes erscheint zunächst farblos. An Bäumen, welche im Hochsommer zu solchen Eosin-Versuchen verwendet wurden, und bei welchen der neue Jahresring des Holzkörpers fast vollendet war, zeigten sich vielfach die grossen Gefässe nur in diesem gefärbt, während die engen Gefässgruppen auch des vorjährigen und des vorvorjährigen Ringes sich an der Leitung noch betheiligten. Ein Anfang August gefällter, 18-jähriger Baum, hatte einen kleineren Theil seiner vorjährigen und sämmtliche grosse Gefässe des vorvorjährigen Ringes schon mit Thyllen angefüllt. Ein anderer, Mitte Juni gefällter, 12-jähriger Baum war ohne Thyllen in den grossen Gefässen der drei letzten Jahresringe; ein 13-jähriger von

gleicher Stärke hatte in dem dritten Jahresringe von aussen zum Theil schon seine grossen Gefässe verstopft[1]).

Im Gegensatz zu Robinia Pseudacacia behält Wistaria sinensis auch ihre älteren Gefässe in Thätigkeit, so dass Thyllen in denselben meist erst sehr spät auftreten. Entsprechend ihrer Lianennatur führt Wistaria sehr weite Gefässe, ausserdem enge, wie Robinia, mit der Wistaria überhaupt in ihrem Baue nahe übereinstimmt. Eigentliche Tracheïden fehlen. Trotzdem das Holz thyllenfrei ist und selbst dickere Stämme sich bis zum Mark lebendig zeigen, wurde die wässerige Eosinlösung auch hier nur durch die beiden, allenfalls die drei letzten Jahresringe aufwärts geleitet. Von den weiten Gefässen kamen fast stets nur die des letzten Jahresringes, in den anderen betheiligten Jahresringen, nur die engen Gefässgruppen zur Verwendung. Wurde bald nach Beginn des Versuches die Untersuchung des Stammes in grösserer Höhe vorgenommen, so fand sich dort auch wohl nur der letzte, also im Hochsommer der diesjährige Jahresring gefärbt, eventuell auch erst innerhalb dieses Jahresringes einzelne, direct nach den Blättern führende Bahnen. — Werden längere, blattlose Stücke eines Wistaria-Astes in Eosin-Wasser gesetzt, so steigt der Farbstoff innerhalb derselben nur in den engen Gefässen auf. In diesen erreicht er alsbald den oberen Querschnitt. Diese engen Elemente zeigen sich dementsprechend mit Flüssigkeit, die weiten mit Luft erfüllt.

Unserer anatomischen Untersuchung nach führen Salix-Arten verhältnissmässig weite Gefässe, keine Tracheïden, sehr wenig Holzparenchym, dagegen viel Holzfasern. Die Gefässe sind relativ dünnwandig, und mit dieser ihrer Eigenschaft und dem Umstande, dass viele Holzfasern direct an die Gefässe grenzen, ist wohl in Verbindung zu bringen, dass sich die durch den Querschnitt aufgenommene Eosinlösung so rasch von den Gefässen aus über die Holzfasern verbreitet. Daher man bei Salix keine reinen Gefässfärbungen, sondern nur diffuse Holzfärbung erhält und aus derselben schliessen könnte, dass auch die Holzfasern als Leitungsbahnen dienen. Immerhin zeichnen sich die Gefässe

---

1) Vergl. auch Angaben hierüber bei F. v. Höhnel, Ueber den negativen Druck der Gefässluft, Strassburger Inaugural-Dissertation, 1876, und Wieler, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 103.

auf Längsschnitten vielfach als dunkler roth gefärbte Striche, besonders bei Lupenbetrachtung, aus. Bei stärkerer Vergrösserung fallen an denselben Längsschnitten durch ihre dunklere Färbung diejenigen Markstrahl- und Holzparenchymzellen auf, die durch zahlreiche Tüpfel mit den Gefässen communiciren. Auf eine nähere Beziehung dieser Elemente zu den Gefässen hatten wir bereits im anatomischen Theile hingewiesen.

Das Ahornholz enthält sehr viel Holzfasern, die zum Theil lebendigen Inhalt führen, wenig Holzparenchym, relativ wenig Gefässe und ganz wenig, auf das äusserste Spätholz beschränkte Tracheïden. Zahlreiche Holzfasern kommen mit den Gefässen in directe Berührung, und damit, eventuell auch mit einer grösseren Durchlässigkeit der Holzfasermembranen mag es zusammenhängen, dass auch hier die aufgenommene Eosinlösung sich von den Gefässen aus rasch über den ganzen Holzkörper verbreitet. So erhält der Holzkörper an den in Eosin eingesetzten Zweigen eine fast gleichmässige, wenig intensive Färbung. Ungefärbt zeigt sich der Holzkörper erst von denjenigen Stellen an, in welchen die Gefässe mit Schutzgummi verstopft erscheinen. So blieb in einem 5,5 cm dicken, 7 m hohen Aste ein centraler Theil von 1,2 cm Durchmesser ungefärbt. Genau ebenso weit reichte, wie die Untersuchung lehrte, der Verschluss der Gefässe mit Schutzgummi. Da die mit Stärke erfüllten lebendigen Elemente in diesem Aste bis zum Marke reichten, so war es klar, dass auch hier Theile des Holzkörpers die der Wasserleitung nicht mehr dienen, als Reservestoffbehälter fungiren.

Tilia verfügt ausser Gefässen, Holzparenchym, Holzfasern auch über zahlreiche Tracheïden. Werden in wässrige Eosinlösung gestellte Zweige nach einigen Stunden untersucht, so findet man nur die Tracheen, Tracheïden, das sie umgebende Holzparenchym und die anstossenden Markstrahlabschnitte gefärbt, hingegen nicht gefärbt die Holzfasern. Späterhin geht der Farbstoff auch auf diese über. Der Bast bleibt ungefärbt. In übergefärbtem Holze treten vielfach die äusseren Theile der Jahresringe, das Spätholz, mit dunklerer Farbe hervor.

Auch bei Hedera Helix färben sich zunächst die Gefässe, Tracheïden, das denselben in spärlichen Zellenzügen folgende Holzparenchym und die angrenzenden Abschnitte der zahlreichen Markstrahlen. Weiterhin verbreitet sich die Färbung langsam

auch auf die Holzfasern. Ein 2,5 cm dicker Stamm war nach 10-tägigem Aufenthalt in der Eosinlösung in seinen unteren Theilen bis zur Mitte durchgefärbt, doch schon in 2 m Höhe zeigte sich die Färbung auf die äusseren Holzzonen beschränkt; weiter hinauf war nur noch etwa der äussere Dritttheil des Holzkörpers gefärbt.

Die Bilder, welche in Eosinlösung eingestellte Eichenzweige auf Querschnitten bieten, decken sich sehr gut mit den anatomischen Befunden. Es gilt freilich auch hier, den Versuch nicht allzu lange auszudehnen. Wir fanden das Holz der Eiche aufgebaut aus Gefässen, Tracheïden und Holzparenchym. In den Tracheïden machte sich eine Arbeitstheilung, in mehr dem Zweck der Wasserleitung und in mehr mechanischen Zwecken angepasste, geltend. Demgemäss zeigen sich nach Aufnahme von Eosinlösung zunächst gefärbt die Gefässe sammt den ihnen anliegenden, abgeflachten, kurzen Tracheïden, die weitlumigen Tracheïdenstränge, welche die Gefässe unter einander verbinden, und die englumigen, doch tüpfelreichen Tracheïden im Spätholze der Jahresgrenze, von welchen wir schon im anatomischen Theile zeigten, dass sie die Verbindung der Wasserbahnen zwischen den aufeinander folgenden Jahresringen herstellen. Auf die übrigen, englumigen, tüpfelarmen mechanischen Fasertracheïden geht der Farbstoff erst weit später und meist nur spärlich über. Wird der Versuch Anfang Juli angestellt, so erscheinen gefärbt die betheiligten Elemente des diesjährigen und grösstentheils auch noch des vorjährigen Holzringes; die älteren Jahresringe nicht.

Die Rothbuche gab, trotzdem sie aus den nämlichen Elementen wie die Eiche aufgebaut ist, nach Aufnahme von Eosin nur diffuse Bilder. In diesen traten die Gefässe durch stärkere Färbung nicht hervor, wohl aber in manchen Fällen das Frühholz. An stärkeren Aesten blieben die inneren Jahresringe ungefärbt.

Rosifloren, welchen ich Eosinwasser zur Aufnahme bot, verhielten sich entsprechend den Elfving'schen Angaben [1]). Wir haben in dem anatomischen Theile gesehen, dass die Rosifloren einen aus Fasertracheïden aufgebauten Holzkörper besitzen und dass selbst ihre engsten Fasertracheïden behöfte Tüpfel, mit

1) Ueber die Wasserleitung im Holz, Bot. Ztg., 1882, Sp. 721.

Torus auf der Schliesshaut, führen. So wie die Gefässe zeigen sich auch alle diese Elemente zur Aufwärtsleitung der Farbstofflösung befähigt.

Bei Clematis Vitalba waren in Sprossen, die 12 Stunden in Eosin-Wasser zugebracht hatten, die Gefässe, Tracheïden und auch das dieselben trennende, aus Holzparenchym und Holzfasern bestehende Gewebe gefärbt. Holzparenchym und Holzfasern hatten, wie wir wohl mit Sicherheit jetzt behaupten können, den Farbstoff von den Leitungsbahnen aus erhalten. Dass aber die Holzfasern der Holzstränge sich erst später als die trachealen Bahnen färben, kann man in den oberen Theilen von kürzlich in die Lösung gestellten Sprossen feststellen. Am längsten widerstehen der Färbung die Holzfasern, welche die Flanken der Gefässbündel einnehmen, ungeachtet ihr Bau fast vollständig mit demjenigen der Sklerenchymfasern im Innern der Holzstränge sich deckt. Ihre Trennung von den trachealen Bahnen bedingt diese Färbungsdifferenz. Gefärbt zeigte sich bei längerer Einwirkung das ganze Gefässbündelnetz der Blätter, wobei sich die aus etwas angeschwollenen Tracheïden bestehenden Gefässbündelenden, sammt angrenzendem Mesophyll als rothe Flecke im Gewebe des Blattes besonders zeichneten.

Wie schon von Th. Hartig eingehend erwiesen wurde [1]), verdunsten die Zweige nicht unbeträchtliche Wassermengen, auch im unbelaubten Zustande, weshalb ich alle die oben geschilderten Farbstoffaufnahmen auch mit unbelaubten Zweigen erzielen konnte, wenn dieselben im Spätherbst oder Winter geschnitten und im Zimmer in der Farbstofflösung aufgestellt wurden. Die von der Farbstofflösung eingeschlagenen Bahnen waren in den unbelaubten Zweigen die nämlichen wie in den belaubten, nur dass der Aufstieg naturgemäss ein viel langsamerer war. Besonders langsam fiel er in solchen Fällen aus, wo die Zweigoberfläche besonders gut durch Korklagen gegen Verdunstung geschützt sich zeigte. Ueber die Ergebnisse der einzelnen Versuche hier zu berichten, würde zwecklos sein.

Auch kann es fast als selbstverständlich gelten, dass die

---

1) Verdunstung der Zweigspitzen im unbelaubten Zustande, Bot. Ztg. 1863, Sp. 261. Vergl. auch R. Hartig, Ueber die Vertheilung der organischen Substanz etc. Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München II, p. 35.

Farbstoffaufnahme im Sommer, durch Entlaubung der Versuchszweige, bedeutend herabgesetzt werden konnte. Scheinbar widersprechende Resultate erhält man hier freilich, wenn man Zweige gleich nach dem Durchschneiden unter Wasser in die Farbstofflösung einführt. Während der kurzen Zeit, welche der Zweig im Wasser zubrachte, konnte er von demselben nicht so viel aufnehmen, als zur Füllung seiner luftverdünnten Räume etwa nothwendig war. Die Aufnahme der Farbstofflösung muss demgemäss bis zur Sättigung der ganzen Wasserbahn anhalten. Daher wird es bei diesen Versuchen nothwendig, soweit man diese Saugung der luftverdünnten Abschnitte der Wasserbahn ausschliessen will, den Zweig erst längere Zeit in Wasser stehen zu lassen. Vielfach erhält man auch dann noch weit ergiebigere Aufnahmen von Farbstofflösung als im Winter, weil die jüngeren, der Korkdecke vielfach noch entbehrenden Sprosse relativ stark transpiriren. In entlaubten Weidenzweigen zu Beginn des Sommers steigt der Farbstoff beispielsweise immer noch sehr rasch. Mit Weidenzweigen gelang es, die Aufnahme der Farbstofflösung durch den Querschnitt nur dann annähernd vollständig zu unterdrücken, wenn diese Zweige nach vorausgehender Sättigung mit Wasser — einer Sättigung, die sie nur an sehr feuchten Orten aufgestellt zu erlangen vermochten — in die Farbstofflösung gesetzt wurden, während gleichzeitig ihr ganzer transpirirender, belaubter oder künstlich entlaubter Theil ins Wasser tauchte.

Versuche mit krautartigen Dicotylen schränkte ich der Hauptsache nach auf Humulus Lupulus, Bryonia dioica und Cucurbita-Arten ein. Bei allen war übereinstimmend zu constatiren, dass, wenn die Aufnahme der Eosinlösung kurz anhielt, nur die Tracheïden und Gefässe, sowie das sie umgebende Vasalparenchym gefärbt waren. Weiterhin strahlte die Färbung auf die Umgebung, so auch den Siebtheil aus. Wo dies in den unteren Theilen der Sprosse bereits geschehen, konnten in den oberen oft noch die ursprünglichen Färbungen angetroffen und dort auch festgestellt werden, dass die Färbung der engen Gefässtracheïden am Innenrande der Gefässbündel den anderen vorauseilt.

Bei verschiedenen krautartigen Solaneen, vornehmlich Nicotiana-Arten, die ich in Eosinwasser stellte, waren zunächst auch sehr reine, nur auf die Tracheïden und Gefässe, nebst

umhüllendem Parenchym, beschränkte Färbungen zu beobachten.

Bei Sedum-Arten, Campanula Vidalii und Gypsophila dichotoma, deren Stengel wir in Rücksicht auf ihren ungewohnten Aufbau untersuchten, liessen sich die Färbungsbefunde mit den anatomischen Thatsachen sehr gut in Einklang bringen.

Sehr instructiv war das Bild, welches ein Querschnitt von Sedum maximum bot, nachdem die Pflanze mehrere Stunden lang in wässriger Eosinlösung gestanden hatte. Den theoretischen Anforderungen in typischer Weise entsprechend, zeigen sich an den Querschnitten nur die Gefässe, respective Tracheïden, nebst unmittelbarer parenchymatischer Umgebung in den primären Gefässtheilen, und die aus Gefässen und Holzparenchym bestehenden Inseln innerhalb des secundären Zuwachses gefärbt. Diese gefärbten Stränge des secundären Zuwachses setzen sich aufwärts in die primären Gefässtheile des Stengels fort und gelangen als solche in die Blätter, in welchen die Nerven sich nach hinreichend langer Dauer des Versuchs bis in die feinen Verzweigungen hinein färben.

Den anatomischen Befunden nicht minder entsprechend, zeigen sich auch bei Sedum populifolium in den stärkeren, mehrere concentrische Holzringe aufweisenden Stengeltheilen, nur die Gefässgruppen des äussersten Holzringes gefärbt. Die ausgeschalteten inneren Holzringe nehmen nur wenige Millimeter hoch den Farbstoff durch die Schnittfläche auf. Die inneren Holzringe hören, wie wir gesehen haben, nach oben zu der Reihe nach auf, während der äusserste Holzring sich schliesslich als einziger Holzring innerhab des Stengels und weiter durch die austretenden Gefässbündel in die Blätter fortsetzt. Demselben Wege folgt auch der Farbstoff.

Ein kräftiger Spross von Campanula Vidalii, in wässrige Eosinlösung gestellt, weist in dem ungefärbt bleibenden Holzfaserringe alsbald rothe Stellen auf, welche den Stellen entsprechen, an welchen die Gefässe liegen. Von den Gefässen aus verbreitet sich die Färbung auf die nächst umgebenden Holzfasern, so dass die Flecke eine gewisse Grösse erreichen. Ebenso erscheinen auch die primären Gefässtheile an der Innenseite des Holzringes gefärbt.

Bei Gypsophila dichotoma werden in wässriger Eosinlösung

zunächst nur die Gefässreihen, doch alsbald auch die angrenzenden Holzfasern gefärbt. Dauert der Versuch länger an, so verbreitet sich die Färbung über den ganzen Holzkörper, und schliesslich auch über die Rinde.

Anzugeben, was Alles für Gewebe, vornehmlich krautartiger Pflanzen, bei längerer Dauer eines Versuches Farbstoff aufspeichert, hielt ich für zwecklos. Unter sonst gleichen Bedingungen breitet sich derselbe Farbstoff über um so mehr Gewebe einer Pflanze aus, je nachtheiliger er derselben ist. Werden die lebendigen Gewebe der Pflanze vor Darreichung des Farbstoffes getödtet, so erscheint, wie wir später noch sehen werden, vielfach alsbald der Gesammtquerschnitt derselben tingirt.

Auch bei einer Anzahl von Monocotylen stellte ich Steigversuche mit wässriger Eosinlösung an. Wie bei der anatomischen Untersuchung, beginne ich auch hier zunächst mit Zea Mays. Eine kräftige, 1,5 m hohe, am oberen Ende noch in der Entwickelung begriffene Pflanze wurde am 16. Juli, Nachmittags 4 Uhr, aus dem Boden gehoben, unter Wasser an der Basis quer durchschnitten und bei ziemlich trübem Wetter und 18 ° C in die Eosinlösung gestellt. Des Nachts fiel die Temperatur auf 16 ° C. Die Pflanze wurde am nächsten Tage um 10 Uhr Vormittags untersucht. Alle Gefässbündel zeigten sich gefärbt; in den unteren Internodien nicht nur die Gefässtheile, sondern auch die Siebtheile; weiter hinauf nur die ersteren. Das Grundgewebe hatte nur in den untersten Internodien schwache diffuse Färbung erlangt. Innerhalb der Knoten traten auch die für die Achselknospen und Wurzelanschlüsse bestimmten Gefässbündel grösstentheils tingirt hervor, was sich, ungeachtet die Achselknospen und Wurzeln nicht ausgetrieben hatten, aus den zahlreichen Anastomosen dieser Gefässbündel mit den Blattspursträngen erklärt. Ausgeprägte und frühzeitige Färbung zeigte auch der Intercellulargang des Gefässbündels, was, wie auch die anatomischen Befunde, für dessen Betheiligung an der Wasserleitung spricht. Sehr instructiv war es, zu constatiren, dass in den obersten, unfertigen Internodien, in welchen die Gefässbündel als fertige Wasserbahnen nur die Vasalprimanen aufzuweisen hatten, diese zunächst auch nur allein gefärbt erschienen. Die Färbung verbreitete sich dann von diesen Elementen aus auf das umgebende Vasalparenchym.

Ganz dieselben Resultate ergab eine sammt Wurzeln aus dem Boden gehobene Pflanze, deren Wurzeln hierauf unter Wasser durchschnitten worden waren. Diese Pflanze musste die wässrige Eosinlösung, die sie mit den Gefässen der Wurzelquerschnitte aufnahm, durch Vermittelung der Anschlussbündel an die Blattspurstränge abgeben, und alle diese Bahnen zeigten sich dann auch, den Anforderungen gemäss, gefärbt. In den Wurzeln waren die Färbungen vornehmlich auf die engeren Gefässstrahlen der Peripherie und das dieselben zunächst umgebende Gewebe beschränkt. Die weiten isolirten Gefässe färbten sich nicht. Die peripherischen Gefässstrahlen reichten aber aus, um den Transpirationsstrom zu decken. An der Basis ging alsdann bei der Vereinigung der engen peripherischen Gefässe mit den sich in engere Gefässgruppen auflösenden grossen Gefässen, die Färbung auch auf letztere über. So erschienen die Anschlussbündel der Wurzel im Internodium in allen ihren Wasserbahnen tingirt. Innerhalb der Internodien selbst waren die Gefässtracheïden und Gefässe der medianen Reihe, sowie des queren, die grossen seitlichen Gefässe vereinigenden Bandes, in ihrer Färbung bevorzugt. Um diese, sowie um den Intercellulargang, zeigte sich auch das Vasalparenchym tingirt. Die Färbung theilte sich von letzterem aus, nach einiger Zeit, meist auch dem Siebtheil mit. — Völlig unversehrte Wurzeln hatten aus der Eosinlösung keinen Farbstoff aufgenommen.

Erinnert sei an dieser Stelle daran, dass Wieler [1]) mit wässrigem Methylenblau, das er durch unversehrte Wurzeln von Zea Mays aufnehmen liess, auch nur die Gefässbündel gefärbt fand, und zwar in einem Versuch mit Ausschluss, in einem anderen mit Inbegriff der Siebtheile. In den untersten Theilen der Pflanze waren alle Gefässbündel des Stammes und der Blattscheiden gefärbt, weiter hinauf, in den Blättern, setzte die Färbung in einem Theile der Bündel aus. Wieler sucht letztere Erscheinung auf ungleichmässige Transpiration zurückzuführen [2]), während ich in derselben nur eine Folge von Leitungsstörungen in einem Theile der Bahnen erblicke.

Ganz die nämlichen Resultate wie mit Zea erhielt ich auch mit Arundo Donax.

---

1) Jahrbücher f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 123.

2) l. c. p. 129.

Von Palmen verfügte ich nur über Chamaedorea elatior zu meinen Versuchen. Ein ca. 2 m hoher, an der Basis 15 mm dicker Stamm blieb 3 Tage lang in wässriger Eosinlösung stehen. Seine sämmtlichen Gefässbündel zeigten sich tingirt und zwar in den oberen Theilen des Stammes nur die Gefässtheile derselben. Alles übrige Gewebe war farblos, auch die Sklerenchymbelege an der Siebtheilseite der Bündel. Dass diese Sklerenchymbelege aber nicht aus Mangel der Verwandtschaft zum Farbstoff ungefärbt geblieben, das zeigte der Umstand, dass sie sich in den mikroskopischen Querschnitten, im ersten Augenblicke farblos, alsbald tingirten, und zwar indem sie dem Untersuchungstropfen, der sich vom Schnitt aus gefärbt hatte, den Farbstoff entzogen. Innerhalb der Blätter war der Farbstoff verschieden weit im gemeinsamen Blattstiel und den Fiedern zu verfolgen.

Die Farbstoffversuche mit Dracaena fielen ähnlich aus. Der erste Versuch wurde mit einer Cordyline australis ausgeführt, und zwar mit einem kräftigen Exemplar von 1,90 m Stammhöhe, sammt Blattkrone 2,40 m hoch. Der Stamm zeigte an seiner Basis einen Durchmesser von 5 cm. Dieser Stamm wurde sammt Kübel in einen Wasserbehälter versenkt, unter Wasser abgesägt, mit einem scharfen Messer an der Schnittfläche geglättet, hierauf in wässrige Eosinlösung gesetzt. Die Untersuchung nahm ich 44 Stunden später vor, nachdem auch die oberen Blätter rothgefärbte Gefässbündel im Querschnitt aufwiesen [1]). Wie ich vorausgesehen, zeigten sich alle Gefässbündel des Querschnittes, ausgenommen die noch unfertigen des Verdickungsringes, gefärbt. Alles übrige Grundgewebe war farblos. In den unteren Theilen des Stammes hatte sich, vom Gefässtheil aus, die Färbung auch meist über den Siebtheil, so auch zum Theil über die Scheidenelemente verbreitet; in den oberen Theilen des Stammes waren nur die Gefässtheile, d. h. die Gefässtracheïden und Tracheïden, nebst dem unmittelbar angrenzenden Vasalparenchym, gefärbt. In den unfertigen, obersten Internodien zeigten sich nur die Gefässtracheïden, soweit fertig, tingirt. Zwischen den gefärbten Gefässbündeln war auch eine Anzahl bereits mit Vasalprimanen versehener und doch ungefärbter Gefässbündel zerstreut, nämlich solcher die noch un-

---

1) Die Pflanze nahm in dieser Zeit ca. 800 ccm Flüssigkeit auf.

entfalteten Blättern zugehörten. Innerhalb der Blätter, je nach der Höhe, der sie entsprangen, drang der Farbstoff mehr oder weniger weit vor. An den durchgefärbten Stellen der Blätter zeigten sich auch die Gefässtheile der kleinen Querbündel tingirt.

Der Zufall fügte es, dass ich späterhin den Versuch auch noch mit einer zweiten Cordyline australis wiederholen konnte, die nicht weniger als 5,5 m hoch war und in halber Höhe sich in drei Schäfte theilte. Diese Cordyline war im freien Grunde eines Gewächshauses erwachsen und musste, da sie zu gross geworden, beseitigt werden. Der Stamm hatte an seinem Grunde einen Durchmesser von 12 cm aufzuweisen, wobei 3,5 cm auf die primären, inneren Theile und etwas über 8 cm auf den secundären Zuwachs des Holzkörpers fiel. Das Ergebniss des Versuches war ganz das nämliche wie im ersten Fall, und gehe ich auf denselben nur deshalb ein, weil er zeigte, dass auch in einem so starken Stamme die primären Gefässbündel noch thätig sind. Die sämmtlichen inneren Gefässbündel zeigten sich noch tingirt, und nur die gedrängtere Stellung der Gefässbündel im secundären Zuwachs bedingte es, dass dieser mit dunklerer Farbe gegen die inneren Theile abstach.

Bei Kiefer, Fichte, Edeltanne, Lärche und Eiche bevorzugte das Eosinwasser beim Aufstieg das Früh- und Folgeholz, wenn auch mit der Zeit das Spätholz, in Folge stärkerer Absorption des Farbstoffes, intensiver gefärbt erscheinen konnte. Wurde das Holz nach Aufnahme des Farbstoffes getrocknet, so konnte der Farbstoff sich in den Hofräumen der Tüpfel besonders angesammelt zeigen. Diese schon von Elfving bemerkte Erscheinung wird durch das starke Festhalten der Flüssigkeiten im Innern der Hoftüpfel veranlasst.

Die Versuche mit Gefässkryptogamen gaben ebenfalls keinerlei den vorausgehenden widersprechende Resultate. Erwähnt sei nur Equisetum Telmateja, wo in hohen, grünen Sprossen nicht nur die Gefässtracheïden, sondern auch die Carinalhöhlen der Gefässbündel sich färbten. Von diesen aus verbreitete sich die Färbung erst auf die Umgebung.

Ich habe schon bei Zea Mays erwähnt, dass auch in Wurzeln der Farbstoff nur die Gefässbahnen einschlägt. Sehr zahl-

---

1) Ueber die Wasserleitung im Holze, Bot. Ztg. 1882, Sp. 718.

reiche Versuche an Wurzeln, die sich über alle Abtheilungen der Gefässpflanzen erstreckten, hatte bereits mit gleichem Ergebnisse Van Tieghem angestellt [1]). Auch Van Tieghem fand, dass der Farbstoff in den engen Gefässen der Wurzeln rascher steige [2]). Van Tieghem meint, dass Bohnen und andere Leguminosen auch durch intacte Wurzeln Farbstoff aufgenommen hätten, und zwar Rothholz- und Blauholz-Decocte. Er konnte diese Farbstoffe, mit etwas verändertem Farbenton, innerhalb der Gefässe durch die ganze Länge der Wurzeln nachweisen. Der gefärbte Inhalt der Gefässe trete sichtbarer hervor nach Zusatz von Chlorzink oder von Bleiacetat zu den Präparaten, welche einen blauen oder einen rothen Niederschlag in den Gefässen veranlassen, je nachdem es sich um den Blauholz- (Campecheholz) oder Rothholz- (Fernambukholz) -Decoct handle [3]). In Wurzeln mit secundärem Zuwachs nehmen, nach Van Tieghem, die primären Gefässtracheïden und Gefässe zunächst den Farbstoff auf, soweit sie ihre Function, wie ich hinzufügen möchte, noch nicht eingebüsst haben, und hierauf färben sich auch die secundären Tracheïden und Gefässe. Erst später werden auch die Holzfasern gefärbt, indem sie von den Gefässen und Tracheïden den Farbstoff aufsaugen [4]).

Auch mit Luftwurzeln von Philodendron - Arten, die mit dem oberen Querschnitt in Eosinwasser tauchten, somit umgekehrt aufgestellt waren, nahm ich einige Steigversuche vor. Soweit solche Wurzeln ihre Rinde führten, erfolgte der Farbstoffaufstieg ausserordentlich langsam. Augenscheinlich war die Luftwurzel gegen Wasserverlust durch Verdunstung vorzüglich geschützt. Sehr rasch hingegen stieg die Farbstofflösung auf, wenn ich die Luftwurzel von ihrer Rinde bis auf den Centralcylinder befreite. Bei Stücken von 1 m Länge war alsdann das obere Ende schon nach ca. 2 Stunden erreicht. Der Farbstoff stieg nur in den trachealen Bahnen auf, die sich an dem entrindeten Cylinder schon von aussen als gerade rothe Striche zeichneten. Der ganze Cylinder blieb dabei biegsam,

1) Recherches sur la symétrie de structure des plantes vasculaires. Ann. d. sc. nat. Bot., V. sér., Bd. XIII, 1870, p. 119, 182, 277, 287.

2) l. c. p. 120, 121.

3) l. c. p. 278.

4) l. c. p. 279.

während auf dem Tische nebenan liegende, in gleicher Weise präparirte Centralcylinder nach Ablauf derselben Zeit sich steif und trocken zeigten.

Aufwärtsleitung von Farbstofflösung durch Primanen und das junge Holz.

Bei Zea Mays und Chamaedorea elatior hatte ich bereits Gelegenheit, über die Aufwärtsleitung von Eosinlösung innerhalb unfertiger Internodien zu berichten. Soweit in derartigen Internodien die Vasalprimanen allein fertig waren, zeigten sie sich auch allein gefärbt. Sie hatten somit, auch den Färbungen nach zu urtheilen, allein den Transpirationsbedarf der zugehörigen Blätter gedeckt. Nicht anders als bei Zea Mays und Chamaedorea fand ich es auch bei Gymnospermen und Dicotylen, deren Zweige ich zu Anfang Mai, während der Triebbildung, in wässrige Eosinlösung stellte. Ich experimentirte mit Kiefer, Fichte, Lärche, Linde, Ahorn, Rosskastanie, Weide, Pappel, Birke, Rothbuche, Eiche, Birnbaum, verschiedenen Leguminosen, Holunder, und zwar im Wesentlichen immer mit denselben Resultaten. Stets fanden sich, nachdem die Zweige eine Zeit lang in Eosinwasser gestanden hatten, in den unfertigen Internodien nur die bereits fertig gestellten trachealen Elemente gefärbt. Erst von diesen aus konnte sich die Färbung auf die angrenzenden Gewebe ausbreiten. Durch die fertig gestellten trachealen Elemente liess sich die Färbung in die Vasaltheile der jüngsten Blätter verfolgen. Junge Triebe der gewöhnlichen Rothbuche sahen alsbald aus, als wenn sie einer Blutbuche entnommen wären. Was das Verhalten der Tragsprosse anbetrifft, so färbten sich auch in diesen zunächst nur die Gefässe und Tracheïden, nebst parenchymatischer Umgebung, und zwar sowohl im alten Holze, als auch dem neu erzeugten, soweit dieses schon fertige tracheale Elemente enthielt. In dem älteren Holze konnte der Farbstoff oft auch bei etwas längerer Dauer des Versuches auf die trachealen Bahnen beschränkt bleiben, während er in dem neu erzeugten Holze rasch in die Umgebung diffundirte. Schön konnte durch das Färbungsmittel nicht nur die Fortsetzung der vorjährigen Wasserbahnen des Tragsprosses in diejenigen des neuen Sprosses, sondern auch der radiale Anschluss der Wasserbahnen des vor-

jährigen Holzes in diejenigen des neu erzeugten innerhalb des Tragsprosses verfolgt werden. Bei Aesculus zeigte die starke Färbung der trachealen Elemente im Spätholz des Vorjahres deutlich an, wie stark betheiligt dieselben an der Wasserleitung sind. Die Holzfasern fand ich aber auch unter diesen Umständen mit Luft erfüllt. In Robinia-Zweigen, deren neue Sprosse ihre unteren Blätter bereits fertig gestellt hatten, war die Bildung des Frühholzes im Tragspross schon so weit gediehen, dass dessen Gefässe in die Wasserleitung thätig eingreifen konnten und in dem Holze des Vorjahres sich im Wesentlichen nur noch die engen Gefässgruppen des Spätholzes gefärbt zeigten. Die rege Betheiligung der trachealen Elemente des vorjährigen Spätholzes an der Wasserleitung liess sich auch in den Tragsprossen der anderen untersuchten Dicotylen an der starken Tinction erkennen.

Die Umkehrung des Wasserstromes.

Dass eine Umkehrung des Wasserstromes in der Pflanze möglich ist, weiss man schon von den ältesten Zeiten her, da es ja sehr nahe lag, an Versuche mit aufrechten Sprossen gleich solche mit umgekehrten anzuschliessen. Der Nachweis der Umkehrung des Wasserstromes wurde auch meist mit Hilfe von Farbstofflösungen geführt. So liess bereits de la Baisse mit Phytolaccasaft gefärbtes Wasser durch umgekehrte Pflanzen aufnehmen [1]). Ebenso findet Hales, dass der Holzkörper in den beiden entgegengesetzten Richtungen gleich gut leite [2]). Auch Cotta [3]) giebt an, dass Tinte in den Saftkanälen der Pflanze sich ebenso gut in der gewöhnlichen wie in der verkehrten Richtung bewege; dasselbe gelte für den „Bildungssaft, sowie den rohen", und widerlege zugleich das Vorhandensein der ehemals hypothetisch angenommenen Klappen, die den Rücktritt des Saftes verhindern sollten. — Th. Hartig hat bis

1) Dissertation sur la circulation de la sève dans les plantes, 1733.

2) Statik der Gewächse, Deutsche Uebers., 1748, p. 77.

3) Naturbetrachtungen über die Bewegung und Function des Saftes in den Gewächsen, mit vorzüglicher Hinsicht auf Holzpflanzen, 1806, p. 22.

zum Fusse dicht belaubte Eichen und Hainbuchen von 15 bis 20 Fuss Höhe über dem Boden abschneiden, die Schnittfläche mit Baumwachs verkleben, die Gipfeltriebe zusammenbinden und gemeinschaftlich bis zu der Stelle, wo sie 2,5 bis 5 mm Dicke erreichten, abhauen lassen. Die Bäume wurden hierauf umgekehrt, mit den Schnittflächen der Gipfelzweige nach unten in eine Lösung von „holzsaurem Eisen", also von essigsaurem Eisenoxyd, gestellt. In wenigen Stunden, so giebt Th. Hartig an [1]), sei die Farblösung bis zur Schnittfläche des Stammendes emporgestiegen und zum Theil aus dem Stamme in die nach unten gekehrten Aeste und aus diesen in die Blätter eingetreten, das Geäder der letzteren bis in die feinsten Verzweigungen schwarz färbend. — In letzter Zeit hat schliesslich auch noch Mc Nab angegeben, dass sich die Flüssigkeiten gleich rasch aufwärts und abwärts in dem Holztheile der Gefässbündel bewegen können [2]).

Ich selbst stellte eine Anzahl entsprechender Versuche mit Eosinwasser an.

Eine 15 Jahre alte Fichte wurde am 18. Juli dicht über dem Boden abgesägt, die drei obersten Quirle entfernt und der Baum alsdann umgekehrt in wässrige Eosinlösung gestellt. Er maass in diesem Zustande 4,5 m Höhe. Bis zum 27. Juli nahm er 950 ccm Flüssigkeit auf. Die Untersuchung zeigte, dass die Färbung nur 1,8 m weit in den Stamm reichte. Die Zweige nahmen Farbstoff nur so weit auf, als ihre Insertionsstelle nicht um mehr als 1,5 m von der Flüssigkeitsoberfläche entfernt war. Mit steigender Entfernung sank zugleich die Intensität und die Vollständigkeit der Färbung. In den Zweigen war die Färbung um so vollständiger auf die weitlumigeren Frühtracheïden eingeschränkt, je weniger der Zweig gefärbt sich zeigte. Die Färbung des Baumes erstreckte sich über eine Region von drei Astquirlen. Innerhalb des vierten Astquirls war kein Farbstoff mehr nachzuweisen. Die Färbung des Stammes selbst wurde oberhalb des dritten Quirls unregelmässig und hörte alsbald auf, ohne den vierten Quirl zu erreichen. Noch 1,5 m hoch über der Flüssigkeitsoberfläche reichte hingegen die Färbung des Stammes bis zum Mark.

1) Bot. Ztg., 1861, p. 22.

2) Experiments on the movements of water in plants, Transact. of the roy. Irish Academy, Vol. XXV, science, 1874, p. 365.

Ein langer, kräftiger Lärchenast wurde an seiner 10 cm starken Basis abgesägt und an seinem Scheitel so weit gekürzt, dass er dort 3,5 cm Durchmesser zeigte. Hierauf kam er senkrecht, mit der Basis nach oben gekehrt, in die wässrige Eosinlösung zu stehen. Er verweilte in derselben vom 18. bis zum 27. Juli und nahm 1300 ccm Flüssigkeit auf. Auch nach erfolgter Kürzung hatte dieser Ast immer noch eine Länge von 6,1 m aufzuweisen. Er war in seinem basalen Theile fast kahl, weiterhin kräftig belaubt, dann wieder auf 2,4 m langer Strecke, bis zum abgeschnittenen Ende, unbelaubt. Der Farbstoff stieg 3,5 m. Auf 2 m Länge war der ganze Splint gefärbt, weiterhin setzte die Färbung an einzelnen Stellen aus. Die in einer Höhe von 3,5 m über der Flüssigkeitsoberfläche entspringenden Zweige waren völlig ungefärbt, alle der Flüssigkeit näheren gut tingirt.

Vergleicht man diese Ergebnisse bei Coniferen mit denen, die man in aufrechter Stellung der Versuchsobjecte erhält, so muss die Umkehrung als den Wasserstrom benachtheiligend erscheinen. Im Resultat ist dies in der That der Fall, doch liegt die Veranlassung hierzu nicht in einer verschiedenen Leitungsfähigkeit der Bahnen in den beiden Richtungen, sondern in andern Ursachen. Vergegenwärtigt man sich nämlich dasjenige, was wir im anatomischen Theile, speciell für Coniferen, über den Anschluss der Zweige festgestellt haben, so kann das erhaltene Ergebniss nur als das naturgemässe erscheinen. Der ganze anatomische Anschluss der Wasserbahnen der Coniferenzweige ist grundwärts gerichtet, und so muss denn jede Versorgung derselben in umgekehrter Richtung auf Hindernisse stossen. Dazu kommt das sich Auskeilen der Jahresringe nach oben und deren eingeschränkte radiale Verbindung, welche die Versorgung der nicht selbst in die Farbstofflösung tauchenden Holzringe sehr erschweren musste.

Aus den nämlichen Gründen, wie bei Nadelhölzern, stand auch bei Dicotylen die Farbstoffaufnahme in umgekehrter Richtung hinter derjenigen in der normalen zurück, doch zeigten sich die Unterschiede weniger gross.

Ein reich verzweigter Ast von Robinia Pseudacacia, an seiner Basis 40 mm stark, an seinem Scheitel bis auf 15 mm Durchmesser zurückgeschnitten und alsdann 3,4 m lang, wurde senkrecht und umgekehrt in die wässrige Eosinlösung gesetzt.

Der nach oben gekehrte Querschnitt war mit Baumwachs bestrichen worden, um ein tieferes Eindringen von Luft zu verhüten. Um 3 Uhr Nachmittags begann der Versuch, um 8 Uhr Abends war der Farbstoff schon in halber Länge des Zweiges in den Blättern nachzuweisen. Am nächsten Morgen um 8 Uhr war der Farbstoff schon in allen Blättern vertreten. Drei Stunden später wurde der Ast in Stücke zersägt und diese untersucht. Die eingetauchte Terminalfläche des Astes hatte zwei Jahresringe aufzuweisen. Nur wenige Millimeter weit zeigte sich der Ast in sämmtlichen Elementen seines Holzkörpers durchfärbt, dann schränkte sich die Färbung rasch auf die Gefässe des letzten, 3,5 mm dicken Jahresringes und die engen Gefässgruppen des Spätholzes im vorhergehenden Jahresringe ein. Dieses Verhalten wurde mit steigender Entfernung von der Flüssigkeitsoberfläche immer ausgeprägter und trat sehr scharf sowohl in 60 cm, als auch 1,60 cm Höhe, wo drei, beziehungsweise vier Jahresringe nachzuweisen waren, hervor. Von 2,4 m an, bei sechs Jahresringen, begann die Färbung an einzelnen Stellen auszusetzen. Ueber der Ansatzstelle des letzten Astes, in 3 m Entfernung von der Flüssigkeitsoberfläche, bei acht Jahresringen, wurde sie ausserdem sehr schwach und hörte 20 cm von der Basis des Astes entfernt ganz auf. Alle Seitenzweige, sammt ihren weiteren Auszweigungen, waren gefärbt, doch entsprechend der wachsenden Entfernung von der Farbstofflösung mit abnehmender Intensität.

Ein 4,15 m langes Aststück von Wistaria sinensis wurde umgekehrt in Eosinwasser aufgestellt. Von diesem Aststück hatte ich den oberen beblätterten Theil zunächst entfernt, ihm aber mehrere tiefer entspringende Seitenzweige gelassen. Von diesen befand sich der unterste jetzt nach erfolgter Umkehrung des Aststückes 4,10 m hoch, der folgende 3,90 m hoch, der nächstfolgende 3,80 m hoch, endlich noch einer 3,45 m hoch über der Farbstofflösung. Im Uebrigen war der Ast ganz kahl. Sein oberes in die Flüssigkeit tauchendes Ende zeigte zwei Jahresringe und einen Durchmesser von 5 mm, das untere, aufwärts gerichtete drei Jahresringe und einen Durchmesser von 7 mm. Der Versuch wurde Mitte Juli angestellt. Trotz ungünstiger Witterungsverhältnisse liess sich nach 12 Stunden der Farbstoff in den Blättern auch des von der Lösung am meisten entfernten Zweiges nachweisen. In unmittelbarer Nähe der

Farbstofflösung war das ganze Gewebe des Astes durchfärbt; dann localisirte sich die Färbung allmählich auf den Holzkörper und die trachealen Bahnen. In zwei Meter Entfernung von der Farbstofflösung zeigte der Querschnitt bereits reine Färbungen der Gefässe und ihrer Belegzellen. In drei Meter Höhe war die Färbung auf den äussersten Jahresring beschränkt. Eine Bevorzugung der engen Gefässe in der Färbung machte sich dann immer mehr geltend. Ueber dem von der Farbstofflösung am meisten entfernten Zweige hörte die Färbung rasch auf, nachdem sie sich noch ca. 2,5 cm weit in einigen an der Ursprungsseite dieses Zweiges befindlichen Gefässgruppen fortgesetzt hatte.

Ein 3,75 m langer, 7 cm dicker Ast von Hedera Helix, den der Sturm gebrochen hatte, wurde am 29. September umgekehrt in wässriger Eosinlösung aufgestellt, dann am 1. October zum Zwecke der Untersuchung in Stücke geschnitten. Der Farbstoff war bis zur unteren, aufwärts gekehrten Schnittfläche gelangt. Der Holzkörper zeigte sich, wie auch in früheren Versuchen, diffus durchfärbt, zuletzt nur auf der einen Seite.

Ein anderer schwächerer, doch über 5 m langer, reich belaubter Stamm von Hedera Helix diente zu einem weiteren Versuche. Derselbe war stark verzweigt und die Aeste mit dem Hauptstamm und unter einander vielfach verwachsen. Diese Aeste wurden an zahlreichen Stellen quer durchschnitten, hierauf der Hauptstamm gekürzt und umgekehrt in wässrige Eosinlösung gestellt. Der Stamm zeigte sich nach 5 Tagen vollständig durchfärbt, und ebenso alle Zweige, auch die durchschnittenen, in welchen die Farbstofflösung zum Theil in normaler, zum Theil in umgekehrter Richtung vorzudringen hatte.

Eine complicirte Bahn, in vielfach wechselnder Richtung, musste die Farbstofflösung einschlagen, die einem umgekehrten Stengel von Zea Mays geboten wurde. Die stärkeren Blattspurstränge im Stengel von Zea Mays laufen abwärts durch viele Internodien, bevor sie die Peripherie des Stengels erreichen, wo andere, von höher inserirten Blättern kommende Blattspurstränge sich mit ihnen vereinigen. Bei Umkehrung des Stengels und der nunmehr nothwendig werdenden Versorgung von scheitelwärts gelegenen Leitungsbahnen aus, hatte somit die gebotene Lösung weite Strecken in umgekehrter Richtung zurückzulegen, be-

vor sie in die anschliessenden Leitungsbahnen gelangen und in diesen in normaler Richtung den Weg nach dem transpirirenden Blatte zurücklegen konnte. Die Leitungsbahnen sind nun aber so gut gegen die Umgebung abgeschlossen, die Leitung innerhalb derselben hier so vollkommen, dass auch unter solchen Umständen alle Schwierigkeiten mit Leichtigkeit überwunden werden, wobei wohl auch der Weg durch Benutzung der Anastomosen in den Knoten stellenweise abgekürzt wird. Die in wässriger Eosinlösung umgekehrt aufgestellten Stengel färbten sich ganz ebenso normal wie aufrecht stehende. Nur in den untersten, aufwärts gekehrten Internodien der umgekehrt aufgestellten Pflanze bleibt eine Anzahl centraler Gefässbündel von der Färbung ausgeschlossen. Diese Zahl nimmt basalwärts zu. Es sind das solche Gefässbündel, deren Verbindung mit organisch höheren Blattspursträngen tiefer im Stengel lag als der an den unteren Stengelenden ausgeführte Querschnitt. — Trotz eines solchen Erfolges mit den zuerst angewandten Stengeln, war ich doch etwas überrascht, als es mir auch gelang, eine sehr kräftige Pflanze von Zea Mays von der terminalen, männlichen Inflorescenz aus in ihrem ganzen Gefässbündelsystem zu färben. Die dicht über dem Boden abgeschnittene Pflanze war 1,20 m hoch. Die männliche Inflorescenz des Scheitels hatte noch nicht ihre volle Ausbildung erreicht. Die Axe derselben wurde unter Wasser quer durchschnitten und mit diesem Querschnitt die ganze Pflanze umgekehrt in wässrige Eosinlösung gestellt. Der Durchmesser der Inflorescenzaxe betrug 6 mm, der Durchmesser des Stengels an seinem unteren, nach oben gekehrten Ende 18 mm. Ausser der Inflorescenzaxe tauchten in die Lösung die Querschnitte der Scheiden zweier die Inflorescenzaxe umhüllender, relativ kleiner Blätter. Nach 24 Stunden wurde der Versuch unterbrochen, und die Pflanze mikroskopisch untersucht. Wie bekannt, und wie auch diese Untersuchung ergab, setzt die terminale, männliche Inflorescenzaxe den Stengel direct fort. Diese Inflorescenzaxe war an der Basis noch ganz weich, in Entwicklung begriffen und hatte keine anderen fertigen, wasserleitenden Elemente in ihren Gefässbündeln als die Vasalprimanen aufzuweisen. Von den beiden relativ schwachen Blattscheiden hatte nur die äussere, zugleich grössere, die Seitengefässe ihrer Gefässbündel fertiggestellt. Nichtsdestoweniger war in einem Zeitraum von ca. 24 Stunden durch diese wenigen, grössten-

theils nur in ihren Vasalprimanen fertiggestellten Gefässbündel die Färbung der gesammten Wasserbahnen der Pflanze, in einer den vorausgehenden Versuchen völlig gleichartigen Weise, vermittelt worden. Alle Gefässbündel zeigten sich gefärbt innerhalb von acht auf die männliche Inflorescenzaxe folgenden Internodien; dann traten einzelne ungefärbte Gefässbündel in der Mitte des Stengels auf, und nahm deren Zahl weiterhin rasch zu. Das hing, wie in dem vorigen Versuche, damit zusammen, dass der Anschluss für die Gefässbündel nach oben jenseits des abgeschnittenen Stengelstückes lag. Am fünften und sechsten Knoten dieses Stengels (von der Basis aus gezählt) waren weibliche Inflorescenzen angelegt, doch noch völlig von ihren Blattscheiden umhüllt und vor Transpirationsverlusten so geschützt, dass keine merklichen Farbstoffmengen in dieselben vordrangen.

Wie gut die Primanen leiten, und wie relativ wenige von denselben gebildete Bahnen ausreichen können, um selbst bedeutende Transpirationsverluste zu decken, zeigt wohl der letzte Versuch noch schlagender als die früheren.

Es schien mir nicht ohne Interesse, dieselben Umkehrungsversuche auch mit der weit höheren Graminee Arundo Donax auszuführen. Die Ergebnisse waren die nämlichen wie bei Zea Mays. Eine kräftige, 3 m hohe Pflanze, deren oberer in die wässrige Eosinlösung tauchender Querschnitt 12 mm, deren unterer nach oben gekehrter Querschnitt 20 mm mass, war nach 24 Stunden bis zur Basis gefärbt. Auch hier setzten aber innere Gefässbündel in der Färbung aus, in dem Maasse, als man sich der Basis näherte. Der Ausfall war in diesem Falle dadurch vermehrt, dass die unteren Internodien ihre Blätter bereits eingebüsst hatten und eine Saugung von denselben aus nicht mehr stattfand. So zeigten sich vom dreizehnten Internodium an nur noch wenige Gefässbündel tingirt, während der Stengel im Ganzen siebzehn Internodien zählte.

Die Geschwindigkeit des Wasseraufstiegs.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle ein paar Angaben einzuschalten über die Schnelligkeit, mit welcher die wässrige Eosinlösung in einigen der zu meinen Versuchen benutzten Pflanzen aufstieg. Diese Angaben beruhen auf beiläufigen

Aufzeichnungen und können nur relativen Werth beanspruchen, da ja thatsächlich, je nach Temperatur und Feuchtigkeitsgrad der Atmosphäre, die Steighöhen für eine und dieselbe Pflanze innerhalb ziemlich weiter Grenzen schwanken. Auch haben wir früher schon gesehen, dass das Eosin bei raschem Aufstieg um etwa ein Fünftel des Weges hinter dem Wasser zurückbleibt, was bei etwaiger Verwerthung der Ergebnisse mit in Rechnung zu ziehen wäre.

Ich verweise hier im Uebrigen auf die maassgebenden Untersuchungen von Sachs [1]) über diesen Gegenstand, und auf seine Kritik der älteren Angaben. Sachs' tadellose Versuchsreihen an unversehrten Pflanzen, mit Lithiumsalpeter, ergaben Steighöhen, die je nach der Pflanzenart zwischen 18,7 cm und 206 cm pro Stunde schwankten [2]). Die mit bestimmten Fehlerquellen behafteten Ergebnisse meiner Versuche können immerhin untereinander verglichen werden, da sie alle denselben Fehler aufweisen. Das rasche Aufsaugen in Folge negativen Luftdrucks in die Gefässe wurde, wie schon erwähnt, in allen diesen Versuchen dadurch vermieden, dass ich die Pflanzen unter Wasser durchschnitt, sie eine halbe Stunde in demselben stehen liess und dann erst in die wässrige Eosinlösung überführte. Die Concentration der letzteren war stets annähernd die gleiche.

Wie an anderer Stelle bereits angegeben wurde, erhielt ich für Acacia floribunda, bei 20 bis 22 ° C, bedecktem Himmel, im Durchschnitt 60 bis 80 cm Steighöhe des Farbstoffes in der Stunde. Bei Robinia ergab sich, aus sehr zahlreichen im Juni und Juli angestellten Beobachtungen bei Temperaturen, die um 20 ° C schwankten, 1 m in 50 Minuten. Für Wistaria erhielt ich als Mittel aus noch zahlreicheren, unter sehr verschiedenen Bedingungen angestellten Versuchen, ca. 1 m die Stunde; im Maximum wurde 1,70 notirt. Bei Ahorn (Acer platanoides) beobachtete ich 3 m Aufstieg, das eine Mal in 4, das andere Mal in 5 Stunden, bei Lufttemperaturen zwischen

---

1) Ein Beitrag zur Kenntniss des aufsteigenden Saftstroms in transpirirenden Pflanzen, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, 1882, p. 148. Vergl. dort auch die Litteratur; sowie bei Pfitzer, Ueber die Geschwindigkeit der Wasserströmung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XI, 1878, p. 178.

2) l. c. p. 182.

20 und 24 ° C. In einem reich verzweigten 3 m hohen Aste von Tilia europaea, der am 1. Juni bei 24 ° C im Schatten aufgestellt worden war, erreichte der Farbstoff in 5 Stunden den Gipfel. Bei Vitis vulpina erhielt ich als Mittel aus wiederholten, im Laufe des Juli angestellten Versuchen, 90 cm für die Stunde. Clematis vitalba ergab in nur einem Versuche, bei trübem Wetter und 14 ° C, 80 cm für die Stunde. Die höchsten Werthe erzielte ich bei Bryonia dioica, Cucurbita-Arten, Humulus Lupulus, somit für Pflanzen, die bei bedeutender Länge auf relativ wenig Leitungsbahnen angewiesen sind. Bei Bryonia dioica stieg Ende Juli und Anfang August, bei Temperaturen zwischen 20 und 26 ° C, der Farbstoff ca. 6 m in der Stunde, bei Cucurbita noch etwas schneller! Weit höhere Werthe erhielt ich für beide Pflanzen, wenn ich sie nach Durchschneidung unter Wasser gleich in die Farbstofflösung einsetzte. In einer Viertelstunde konnte die Anwesenheit des Farbstoffes in Höhen bis über 3 m constatirt werden, so dass sich für manche Versuche Steigwerthe von 15 m und darüber pro Stunde ergaben. — Für Humulus Lupulus, der zunächst eine halbe Stunde in Wasser verweilt hatte, erhielt ich am 3. Juni bei 22 ° C eine durchschnittliche Steighöhe von ca. 2 m in 20 Minuten, somit von 6 m für die Stunde. In einem 6 m langen Spross, der gleich nach dem Durchschneiden unter Wasser in die Eosinlösung übergeführt wurde, betrug die Steighöhe 4 m für 20 Minuten, was somit 12 m für die Stunde ergeben hätte. Ein kurzes Verweilen im Wasser, beim Durchschneiden der Pflanze, reichte somit weder bei den Cucurbitaceen noch bei Humulus aus, um auf grössere Entfernungen hin einen solchen Ausgleich der Luftspannung zu ermöglichen, dass dieselbe nicht mehr beschleunigend auf den Wasseraufstieg eingewirkt hätte. Es fielen alsdann die Steigwerthe für die Farbstofflösung immer höher aus, als in Pflanzen, denen erst nach halbstündigem Verweilen in Wasser die Farbstofflösung zuertheilt wurde. Da die halbe Stunde genügte, um das Wasser bis in den oberen Theil der Bryonia- und Cucurbita-Sprosse zu führen, so dürften die in den letzten Fällen gewonnenen Werthe in der That annähernd richtig, d. h. den gegebenen Bedingungen entsprechend ausgefallen sein. — Doch ich will mich hier auf diese wenigen Angaben beschränken und verweise im Uebrigen nochmals auf die Abhandlung von Sachs und auf Pfitzer's zusammenfassende

Besprechung der Sachs'schen und der eigenen Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Wasserströmung im fünften Jahrgang des botanischen Jahresberichts [1]).

Einschränkung der Wasserleitung auf die äusseren Jahresringe.

Schon wiederholt hatte ich im Vorausgehenden Gelegenheit, darauf hinzuweisen, dass in unseren Bäumen nur die äussersten Jahresringe für die Wasserleitung benutzt werden. Es folgt das unmittelbar aus dem Umstand, dass es nur die äussersten Wasserbahnen sind, welche den directen Anschluss an die wasseraufnehmenden, primären Vasaltheile der Wurzeln und an die wasserabgebenden Vasaltheile der transpirirenden Flächen haben [2]). Alle älteren Wasserbahnen sind nur auf indirecte Betheiligung, so weit als die radialen Anschlüsse dieselbe gestatten, angewiesen. Die Anschlüsse in der Längsrichtung sind aber so vollkommen, dass der Wasserstrom naturgemäss dieser Richtung folgt und daher bei Splinthölzern wie bei Kernhölzern auf den äussersten, respective die äussersten Jahresringe angewiesen ist. Dass bei Unterbrechung dieser äussersten Bahnen die nächst inneren zu Hilfe gezogen werden, zeigen die Ergebnisse der Holzringelung, indem um so tiefere Ringschnitte von der Pflanze ertragen werden, je tiefer das Holz reicht, das nicht durch Lufteintritt, Austrocknung oder anderweitige secundäre Veränderungen unwegsam gemacht worden ist.

Dass im Splint unserer Bäume vorwiegend nur die jüngsten Jahresringe das Wasser leiten, hatte schon Treviranus hervorgehoben und sogar einen Abschnitt seiner Physiologie der Gewächse entsprechend überschrieben [3]). Dasselbe ist in letzter Zeit von R. Hartig [4]) und Wieler [5]) angegeben worden.

---

1) (1877) p. 533.

2) Das ist auch schon von Wieler hervorgehoben worden, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 105.

3) l. c. Bd. I, 1835, p. 287.

4) Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, III, 1883, p. 47, zuletzt in: Ueber die Wasserleitung im Splintholze der Bäume, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1888, p. 222; auch: Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 404.

5) Ueber den Antheil des secundären Holzes der Dicotyle-

Dieselben suchten zugleich zu zeigen, dass das innere Splintholz als Wasserreservoir diene. Wieler [1]) ist, im Gegensatz zu Sachs [2]), der Ansicht, dass das „Frühlings- und Herbstholz" gleich gut leiten. Diese Angabe ist nicht richtig und wurde nur durch die Wahl ungeeigneter Farbstoffe für die Versuche veranlasst. Was die andere Angabe von Wieler anbelangt, dass einzelne Partien innerhalb der leitenden Ringe in ihrer Leistungsfähigkeit hinter anderen zurückstehen sollten, und dass dieses durch ungleiche Leistungen der transpirirenden Flächen veranlasst sei, so haben wir auch diese Angabe bereits auf ihre wahren Ursachen zurückzuführen gesucht.

Im Allgemeinen lässt sich behaupten, dass, wo bei Holzgewächsen die Laubentwicklung alsbald ihren Abschluss findet, das Frühholz besser als das Spätholz leitet; wohl aber nimmt im Spätholze schliesslich wieder die Leitungsfähigkeit einzelner Reihen, beziehungsweise Stränge von trachealen Elementen zu, was mit dem schon früher besprochenen Bedürfniss zusammenhängt, gute Anschlüsse von einem Jahresring zum andern zu schaffen. Eine reiche Ausgestaltung mit Hoftüpfeln zeichnet solche bevorzugte Elemente aus; ihr geringer Durchmesser scheint ihre Leitungsfähigkeit noch zu erhöhen. Für Coniferen trat bereits der von Wieler behaupteten höheren Leitungsfähigkeit des Spätholzes Pappenheim entgegen [3]). Dass an die Frühlingsbahnen im Holzkörper unserer Bäume die grössten Ansprüche bei der Wasserleitung gestellt werden müssen, ergiebt sich auch schon aus der Erwägung, dass sie es sind, die sich am unmittelbarsten in die Gefässtheile der Blattspurstränge fortsetzen. Fällt doch ihre Anlage mit der Entfaltung und Fertigstellung der transpirirenden Flächen

---

donen Gewächse an der Saftleitung etc., Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 82, und: Ueber den Ort der Wasserleitung im Holzkörper dicotyler und gymnospermer Holzgewächse, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1888, p. 406.

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 115.

2) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, p. 296 ff. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, I. Aufl., p. 275. Die betreffende Angabe fehlt in der II. Aufl.

3) Zur Frage der Verschlussfähigkeit der Hoftüpfel im Splintholze der Coniferen, Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1889, p. 15.

am nächsten zusammen. So kann man auch feststellen, dass es die Elemente des Frühholzes sind, die bei ausdauernden Blättern alljährlich am vollkommensten an die fortwachsenden Blattspurstränge anschliessen. — Die Ausschaltung innerer Splintlagen aus der Wasserleitung wird, wie das Wieler mit Recht hervorhebt, durch solche Fälle besonders klargelegt, in welchen die Gefässe der inneren Splintlage sich mit Thyllen anfüllen. Zu den von Wieler beobachteten [1]) und von ihm, nach älteren Angaben, zusammengestellten Beispielen [2]) will ich hier nur noch zwei extreme hinzufügen. So fand ich bei einem 54-jährigen Stamme von Quercus palustris, dessen lebendige, stärkehaltige Elemente bis zum 12. Jahresringe, von aussen gerechnet, reichten, die Thyllen auch erst in dem 12., also dem innersten Jahresringe des Splintes vor; sie bildeten sich dort aus, während die stärkeführenden Zellen schon in der Abnahme begriffen waren. Hingegen traten mir in einem alten Stamme von Robinia Pseudacacia bei 8 Jahresringen Splint die Thyllen bereits in dem 3. Jahresringe, von aussen gerechnet, entgegen, während die 5 nächstfolgenden Jahresringe noch reichlich Stärke in dem Parenchym führten. Hier zeigten sich auch die Thyllen der Gefässe mehr oder weniger stärkehaltig. Solche Feststellungen müssen an frischen oder in Alcohol eingelegten Stammstücken ausgeführt werden. Trockne Holzstücke aus Sammlungen, die bis jetzt vorwiegend zur Verwendung kamen, dürften kaum die volle Auskunft über die im lebendigen Baume bestehenden Verhältnisse abgeben, da bei langsamem Absterben des Holzes nachträgliche Füllungen der Gefässe mit Thyllen leicht erfolgen können. Ausser der etwaigen Aufgabe, als Wasserreservoir zu dienen, kommt somit den inneren, noch lebendigen Theilen des Holzkörpers jedenfalls eine Rolle bei der Aufspeicherung von Reservestoffen zu.

---

1) Ber. d. Deutsch. bot. Gesellsch., 1888, p. 431.

2) Nach Praël, Vergleichende Untersuchungen über Schutz- und Kern-Holz der Laubbäume, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 1 (Angaben an verschiedenen Stellen des Aufsatzes, besonders bei Artocarpeen, p. 51); vornehmlich aber nach Molisch, Zur Kenntniss der Thyllen, nebst Bemerkungen über Wundheilung in der Pflanze, Sitzber. d. Wien. Akad. d. Wiss., math.-naturwiss. Cl., Bd. XCVII, 1888, p. 277 u. 287.

Aus meinen Notizen seien hier nur noch einige Einzelheiten herausgegriffen.

Ein 8 cm dicker, 6 m langer Lärchenast, in wässrige Eosinlösung gestellt, nach 3 Tagen untersucht, zeigte von 1,5 m Höhe an, wo die Intensität der Färbung abnahm, nur noch die Früh- und Folgetracheïden im Splint, nicht die Spättracheïden gefärbt.

Ein kräftiger Ast der Edeltanne, am 6. Juli in wässrige Eosinlösung gestellt, nach 24 Stunden untersucht, zeigte den diesjährigen Zuwachs am stärksten, ausserdem noch fünf Jahresringe, und zwar in diesen die weitlumigen Früh- und Folgetracheïden deutlich stärker als die Spättracheïden gefärbt. Die Intensität der Färbung nahm schon im vierten Jahresringe ab. Die bevorzugte Färbung der weitlumigen Tracheïden fiel noch mehr in den Seitenzweigen dieses Astes auf. Innerhalb der Blätter zeigten sich die sämmtlichen Elemente des Centralcylinders gefärbt, besonders schön die Sklerenchymfasern.

Ein 4 m langer, 22 mm dicker Ast von Robinia Pseudacacia wurde am 25. August in wässrige Lösung gestellt. Die diesjährige Holzbildung war schon vollendet. In 50 cm Höhe 3 Jahresringe tingirt. Der diesjährige Jahresring nur 2 mm, der vorjährige und vorvorjährige je 4 mm dick. Wie in früheren Fällen, über welche schon berichtet wurde, erschienen auch in diesem die sämmtlichen Gefässe des letzten Jahresringes, und vorwiegend nur die engen Gefässgruppen des Spätholzes in den beiden vorhergehenden Jahresringen gefärbt. In 1,5 m Höhe waren nur noch zwei Jahresringe, in 2,5 m Höhe nur ein Jahresring tingirt, was eben dafür zeugt, dass in dem äussersten Jahresringe die Farbstofflösung am raschesten aufsteigt. — Da bei der Darstellung des mikroskopischen Präparates, in diesen wie in anderen Fällen, die Farbstofflösung sich leicht von den leitenden Bahnen über das ganze Gewebe verbreitet, so empfiehlt es sich, falls man, etwa zur Aufbewahrung, reine Tinctionsbilder erhalten will, die Holzstücke zunächst etwas zu trocknen und hierauf erst zur Darstellung des Präparates zu verwenden.

Wo das Eosin diffuse Färbungen giebt, ist auch von demselben ein Aufschluss über grössere oder geringere Leitungsfähigkeit einzelner Abschnitte der Jahresbildung nicht zu erwarten. Ja auch das Eosin kann bei länger andauernder

Einwirkung, in Folge stärkerer Absorption, zu stärkerer Färbung des Spätholzes führen. So zeigte ein starker Linden-Ast, den ich 8 Tage lang in Eosinwasser stehen liess, sich nicht nur in allen seinen Theilen bis zum Mark durchfärbt, sondern auch noch eine deutliche Bevorzugung des Spätholzes in der Färbung. — Ein starker 7-jähriger Ahorn-Ast (Acer platanoides) zeigte eine ähnliche Erscheinung.

Folgen von Einkerbungen.

Es ist von Hales' [1]) Zeiten her schon bekannt, dass Einkerbungen, die von entgegengesetzten Seiten her bis zur Mitte eines Holzkörpers geführt werden, den Transpirationsstrom nicht auszuschliessen brauchen. Diese Versuche wurden seitdem häufig wiederholt. Cotta benutzte Farbstoffe, um den Weg, den der Saft in solchen Fällen einschlägt, zu bezeichnen [2]). Er kommt zu dem Resultat, dass eine horizontale Verbindung der Kanäle bestehen muss, um eine solche seitliche Bewegung zu gestatten. Rominger [3]) liess durch Zweige von Prunus Padus und von Tilia europaea, die von beiden Seiten so eingeschnitten waren, dass die Continuität aller Gefässe unterbrochen sein musste, gelbes Blutlaugensalz aufsaugen. Nach Erzeugung des Berlinerblau-Niederschlages zeigte, seiner Ansicht nach, die mikroskopische Untersuchung, dass unterhalb des ersten Einschnittes bloss die Gefässe gefärbt waren; in der Nähe des Einschnittes sollten die durchschnittenen Gefässe ihren Inhalt zur Weiterbeförderung an die Markstrahlen abgegeben haben, so dass in dem nicht durchschnittenen Theile des Holzes, eine Strecke weit ober- und unterhalb des Einschnittes sowohl Gefässe als Markstrahlen gefärbt erschienen; wenige Linien über dem Einschnitte waren aber auf der durchschnittenen Seite neben gefärbten Markstrahlen schon wieder viele gefärbte Gefässe zu sehen, und etwas höher oben will Rominger keine Spur von Färbung mehr in den Markstrahlen, sondern nur aus-

1) Statik der Gewächse, Deutsche Uebers., p. 75.

2) Naturbeobachtungen, p. 21.

3) Versuche über die Saftführung der Gefässe, Bot. Ztg., 1843, p. 184.

schliesslich wieder in den Gefässen gefunden haben. Die nämlichen Erscheinungen sollen sich beim zweiten Einschnitte wiederholt haben.

Aehnliche Einkerbungsversuche wurden in den letzten Zeiten wieder ausgeführt, da sie zur Entscheidung der Frage, ob der Transpirationsstrom sich innerhalb der Gefässe, oder der Zellwände bewege, beitragen sollten. Je nach dem Standpunkte wechselte die Deutung, und während Dufour [1]), der den Transpirationsstrom innerhalb der Zellwände durch Imbibition aufsteigen lässt, glaubt behaupten zu können, dass Einkerbungen an sich den Transpirationsstrom nicht zu stören brauchen, folgerten sowohl Vesque [2]) als auch Francis Darwin [3]), die für die Gefässe als Wasserbahnen eintreten, das Gegentheil aus ganz entsprechenden Versuchen.

Die vorhandenen Widersprüche veranlassten mich, eigene Versuche anzustellen, wobei ich wiederum wässrige Eosinlösung benutzte, um die von der Flüssigkeit eingeschlagene Bahn direct zu markiren.

Dufour fand bereits, dass die Einkerbungsversuche mit bestimmten Holzpflanzen gelingen, mit anderen nicht. Welche Nebenumstände das letztere Verhalten bewirken, sei unbekannt; derartige negative Resultate hätten aber, den positiven gegenüber, keine Beweiskraft [4]). — Als Vesque [5]) an der Basis eines Astes von Aucuba vier um je 0,01 m übereinander stehende, um je die Hälfte des Stengelumfanges von einander entfernte Einschnitte anbrachte, blieb der Ast frisch, während ein anderer welkte, an welchem ebensolche Einschnitte nur um je ein Viertel des Stengelumfanges entfernt waren. Vesque meint nun, das Wasser lege in einem solchen Versuche den seitlichen Weg in

---

1) Beiträge zur Imbibitionstheorie, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. III, p. 46, 1884; Sur l'ascension du courant de transpiration dans les plantes, Archives des sciences phys. et nat., Genève, Janvier 1884, troisième période, T. XI, p. 32.

2) Sur l'interprétation d'une expérience de Hales concernant le rôle des vaisseaux. Comptes rendus, Bd. XCVII, 1883, p. 1083.

3) Francis Darwin and Reginald W. Philipps, On the transpiration stream in cut branches. Proceed. of the Cambr. Phil. Society, Vol. V, P. V, p. 330—367, 1886.

4) Arbeiten des bot. Inst. in Würzb., III, p. 49.

5) l. c. p. 1085.

Holzfasern zurück, um dann wieder in Gefässe einzutreten; dieser Weg sei aber in dem zweiten Versuche weiter als in dem ersten gewesen, und daher der Zweig im zweiten Falle welk geworden. Salix viminalis gäbe dasselbe Resultat; Philadelphus sei viel resistenter. Es vertrügen verschiedene Pflanzen verschieden gut die Operation, die krautartigen schlecht, weil ihnen die Holzfasern fehlen.

Zunächst ist hervorzuheben, dass die Verschiedenheit des Ausfalles von Einkerbungsversuchen bei verschiedenen Holzpflanzen durch die Verschiedenheit ihres anatomischen Baues bedingt sein wird. Je nachdem seitliche Anastomosen unter den Gefässen mehr oder weniger zahlreich sind, oder Tracheïden eine solche Verbindung herstellen, oder gar der ganze Holzkörper von Tracheïden aufgebaut wird, müssen die Aussichten für das Gelingen von Einkerbungsversuchen von Anfang an sich auch verschieden gestalten. Verschieden müssen auch die Aussichten werden, je nachdem nur Gefässe oder nur Tracheïden oder beiderlei Elemente zur Verfügung stehen, weil die Luft, wie weiterhin noch gezeigt werden soll, leicht in Gefässe, schwer in Tracheïden eindringt, und das Einschneiden in Gefässe somit weit leichter vollständige Unterbrechungen der Leitung zur Folge haben muss, als das Einschneiden in Tracheïden. Eben der Umstand, dass der Eiche ausser Gefässen auch Tracheïden zur Verfügung stehen, hat es veranlasst, dass die Einkerbungsversuche mit dieser Pflanze von jeher so gut gelangen. Dass auch die Art der Orientirung der Hoftüpfel in Betracht kommt, liegt auf der Hand. Je weniger diese eine Communication in radialer Richtung gestatten, um so störender muss der Einschnitt in die Leitungsvorgänge eingreifen. Eine mehr oder weniger vollständige Einschränkung der Leitungsfähigkeit auf die peripherischen Bahnen muss endlich auch maassgebend für den Erfolg werden und Kernhölzer mit sehr schmalem Splint besonders empfindlich von dem Einschnitte betroffen werden. So giebt schon Boehm [1]) an, dass Zweige von Robinia und Ailanthus „gegen übereinander greifende Kerbschnitte auf den gegenüberliegenden Seiten viel empfindlicher sind als Gewächse, bei denen die Gefässe des ganzen Splintes mit Saft

1) Ueber die Ursache der Wasserbewegung und der geringen Lufttension in transpirirenden Pflanzen, Bot. Ztg., 1881, Sp. 822.

erfüllt sind. Während sich bei diesen bezüglich der Saftleitung meist gar keine schädlichen Folgen zeigen, selbst wenn die Einschnitte nur 3—4 cm weit von einander entfernt sind, erhalten sich die Blätter von Robinia und Ailanthus nur dann dauernd frisch, wenn dieser Abstand mindestens gegen 20 cm beträgt". — Zu diesen Boehm'schen Angaben über Robinia und Ailanthus wäre noch hinzuzufügen, dass, da diesen Bäumen die Tracheïden abgehen, auch hierdurch die Ueberwindung von Einschnitten denselben erschwert wird.

Da, wie wir im anatomischen Theile gesehen haben, die Ficus-Arten nur auf Gefässe und zwar auf relativ weite Gefässe für ihre Leitungsbedürfnisse angewiesen sind, Einschnitte diese Gefässe aber unterbrechen, auch Lufteintritt, eine Strecke weit, in benachbarte Bahnen veranlassen müssen, so konnte von vornherein angenommen werden, dass sie gegenüberliegende Einkerbungen schlecht vertragen würden. — Ein 1,2 m langer, 2 cm dicker, im oberen Theile reich belaubter Ast von Ficus elastica wurde 20 cm über der unteren Schnittfläche mit zwei gegenüber liegenden, je 8 mm hohen, 2 cm von einander entfernten, bis auf das Mark reichenden Einkerbungen versehen und in wässrige Eosinlösung gestellt. Die blosgelegten Stellen des Holzkörpers umwickelte ich, um ihr zu rasches Austrocknen zu verhindern, in diesem wie in den anderen entsprechenden Versuchen mit Staniol. Nach 48 Stunden, während in einem Controlzweige die Eosinlösung bis in den Scheitel vorgedrungen war, zeigte sich in dem eingekerbten Zweige, unterhalb des ersten Einschnittes der Farbstoff in einer relativ nur geringen Anzahl von Gefässen vertreten; unter der zweiten Einkerbung ebenso, doch nur an derjenigen Zweigseite, die der ersten Einkerbung gegenüberlag. Er fehlte vollständig auf beiden Zweigseiten oberhalb der zweiten Einkerbung.

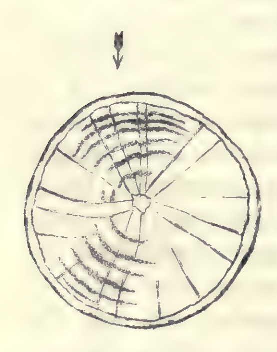
Bei Robinia Pseudacacia, die in den engen Gefässen, welche die weiten Gefässe begleiten, und in den besonderen Strängen aus engen Gefässen bessere Verbindungen der Bahnen wie Ficus-Arten besitzt, umging der Farbstoff die Einkerbungen auch besser, ohne jedoch eine grössere Zahl derselben überwinden zu können, was zu den Boehm'schen Angaben auch stimmt. Ein 8-jähriger, 2 cm dicker Ast wurde in Abständen von 2,5 cm, vier Mal bis zur Mitte eingekerbt. Die Einkerbungen standen seitlich um je ein Viertel des Stengelumfanges

von einander ab, so dass der vierte zur Hälfte wieder über den ersten griff. Unterhalb der ersten Einkerbung war normale Färbung der äusseren Gefässzone im ganzen Umfang des Holzkörpers zu constatiren. Die dritte Einkerbung, der die erste gegenüberstand, liess nur noch sehr wenig Farbstoff passiren, die vierte schnitt den Rest ab. — Ein anderer, 3 cm dicker Ast, der mit drei, je um ein Drittel des Stengelumfangs entfernten Einkerbungen versehen wurde, liess nur an einer schmalen Stelle etwas Farbstoff durchgehen. — An einem dritten Aste, der nur mit zwei gegenüberliegenden, 3 cm von einander entfernten Einkerbungen versehen wurde, gelang es dem Farbstoff die Hindernisse zu umgehen. Ueber den beiden Einkerbungen war aber die Färbung zunächst auf die engen Gefässgruppen des Spätholzes beschränkt, weil diese bessere seitliche Verbindungen zeigen, und ging erst, weiter aufwärts, von diesen aus wieder auf die anderen Gefässe über, so dass die Bilder des Querschnittes allmählich dasselbe Aussehen wie in nicht eingekerbten Aesten gewannen. In solcher Vertheilung ging der Farbstoff auch auf die Seitenzweige über.

Ein 2 cm dicker Spross von Wistaria sinensis wurde 15 cm oberhalb der unteren Querschnittsfläche drei Mal bis zum Mark in Abständen von 3 cm eingekerbt. Die Einkerbungen lagen seitlich um je ein Drittel des Stengelumfanges entfernt. Die dritte griff also mit ihrem Rande wieder über die erste. Jede Einkerbung war 0,5 cm hoch. Der Spross verweilte 3 Tage in wässriger Eosinlösung, während welcher Zeit seine Blätter ganz welk wurden. Bereits unten am Stengel machte sich eine Bevorzugung in der Färbung derjenigen Gefässe geltend, welche sich an der vom ersten Einschnitt abgekehrten Seite befanden. Von den fünf Jahresringen waren übrigens vorwiegend nur die drei äusseren gefärbt. Die erste Einkerbung schnitt den Farbstoff an der zuvor schon weniger begünstigten Stengelseite ganz ab. Alsbald begann aber, über dem ersten Einschnitt, die Färbung wieder von den benachbarten Gefässen aus auf diese Seite herüberzugreifen, vornehmlich auf die Gefässe des vorletzten Jahresringes. Die zweite Einkerbung schnitt hierauf den grössten Theil der gefärbten Bahnen wieder ab, doch von einer schmalen Stelle aus über denselben begann von neuem die seitliche Ausbreitung sich geltend zu machen. Die dritte Einkerbung beseitigte nun aber doch alle Bahnen bis auf

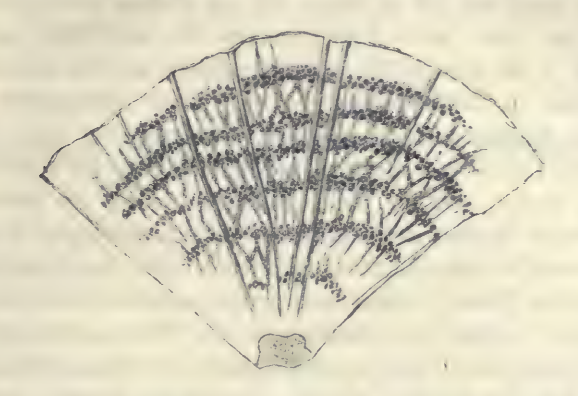
einen ganz schmalen Streifen, der sich zwar weiterhin etwas ausbreitete, doch bei weitem nicht ausreichte, die Bedürfnisse der Transpiration zu decken. Die unteren Schnittflächen der Einkerbungen waren an diesem Objecte intensiver als an den vorhergehenden und zwar fleckig gefärbt. Die Flecke entsprachen den Mündungsstellen einzelner Gefässe oder Gefässgruppen.

An einem 2 cm dicken, 3 m langen Eichenaste brachte ich 25 cm über dem unteren Querschnitte, bis zum Mark, zwei gegenüberliegendeEinkerbungen von je 0,5 Höhe und 2,5 cm Abstand an. Bei den vorzüglichen Gefässverbindungen der Eiche war dieses Hinderniss bald überwunden und 50 cm über den Einkerbungen nichts mehr von deren Einfluss zu bemerken. Die Einschnittsfläche der Einkerbungen zeigte sich intensiv gefärbt. An einem anderen, am Grunde 3,5 cm dicken, 4 m langen, reich verzweigten Eichenast wurden in 40 cm Höhe zwei gegenüberliegende, 0,5 cm hohe Einkerbungen in 3 cm Abstand angebracht. Sie reichten bis etwas über das Mark hinaus und deckten sich so mit ihren Rändern. Der Farbstoff kam trotzdem an den beiden Einschnitten vorbei und bildete 5 cm über denselben zwei mit ihnen alternirende Flecke. Die Färbung erstreckte sich hierbei über die 5 äusseren Jahresringe des im Ganzen 7-jährigen Astes und zwar mit abnehmender Intensität gegen das Innere. Schon das Bild des Querschnittes zeigte deutlich an, in welcher Weise der Farbstoff sich von der einen Bahn zur anderen verbreitet hatte. Ich gebe dieses Bild in natürlicher Grösse, ein Theil desselben drei Mal vergrössert nebenan wieder. Nur die gefärbten Gefässe, respective Gefässgruppen sind in dieses Bild eingetragen; im sechsten Jahresringe nur schwach angedeutet, da sie dort kaum mehr Färbung zeigten; der siebente Jahresring ist nicht bezeichnet, das Mark umrissen und in dem vergrösserten Bilde ausschattirt. Wie das Färbungsbild sich von der Seite, im tangentialen Längschnitt, darstellte, das zeigt das andere, auf die Hälfte verkleinerte Bild, welches



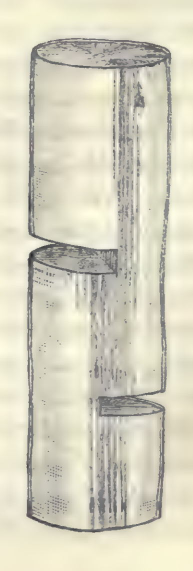
Querschnitt eines eingekerbten, durch Aufnahme wässriger Eosinlösung gefärbten Eichenastes.

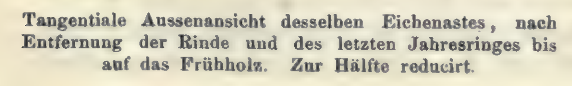
entworfen wurde, nachdem Rinde und so viel Holz entfernt waren, dass die grossen Gefässe des letzten Frühlingsholzes



Ein Theil des vorhergehenden Querschnittes, drei Mal vergrössert.

zur Ansicht kamen. — Höher hinauf in dem Aste dehnten sich die gefärbten Partieen seitlich aus und zogen sich zugleich allmählich auf die äussersten Jahresringe zurück. Der unterste Seitenzweig war mit einem ununterbrochenen Tinctionsringe versehen. — In einem 8-jährigen, 5 cm dicken, 4 m langen Eichenast wurden vier Einkerbungen angebracht, je 2 cm hoch, in je 6 cm Abstand, seitlich um je ein Drittel Stengelumfang von einander entfernt, so dass sie zusammen anderthalb Mal den Ast umliefen. Der Farbstoff kam ungeachtet dessen an zwei Stellen durch und bildete zunächst zwei Flecke, deren einer, der stärkere, annähernd über der Mitte der untersten, der andere, schwächere annähernd über der Mitte der zweituntersten Einkerbung lag. Innerhalb des mit Einkerbungen versehenen Astabschnittes war in diesem Falle wieder zu constatiren, dass auch innere Bahnen in Anspruch genommen wurden, die in nicht eingekerbten Aesten bereits unbenutzt bleiben. Oberhalb des die Einkerbungen tragenden Abschnittes zieht sich dann





Tangentiale Aussenansicht desselben Eichenastes, nach Entfernung der Rinde und des letzten Jahresringes bis auf das Frühholz. Zur Hälfte reducirt.

der Farbstoff allmählich wieder auf die äusseren Bahnen zurück. Ich erreichte eine vollständige Unterbrechung des Transpirationsstromes erst, als ich in einem 3,5 cm dicken, 4 m langen Aste in 30 cm Höhe sechs Einkerbungen bis zur Mitte ausführte, die, um je ein Viertel des Stengelumfangs seitlich von einander abstehend, in Entfernungen von nur 2 cm aufeinander folgten.

Bei Akebia quinata bekommt man zunächst allem Vorhergehenden scheinbar widersprechende Resultate. Bei dieser Lardizabalee laufen, wie bei vielen anderen Lianen, die Holzstränge, von breiten Markstrahlen getrennt, durch die ganze Länge der Internodien. Nichtsdestoweniger verhindert die Unterbrechung aller dieser Bahnen, vermittelst entgegengesetzt orientirter Einkerbungen, nicht das Aufsteigen des Wasserstroms. Dieser Widerspruch löst sich erst bei eingehender Untersuchung, welche lehrt, dass bei Akebia, wie bei Aristolochia Sipho, Vitis, Clematis, schräge Brücken trachealer Natur die Markstrahlen durchsetzen und so die einzelnen Holzstränge innerhalb des Internodiums in Verbindung bringen. Thatsächlich lehren die Querschnitte, dass auch bei Akebia der Farbstoff in den trachealen Bahnen steigt und sich von diesen aus seitlich verbreitet. An den Einkerbungsstellen erfolgt hier eine ziemlich starke Färbung des angeschnittenen Gewebes von den Leitungsbahnen aus, und zwar in Gestalt rother Flecken, auch wohl eine gleichmässige Tinction der ganzen Fläche. Diese Erscheinung ist nicht nur an den unteren, sondern auch an den oberen Flächen der Einschnitte zu sehen, an letzteren veranlasst durch eine abwärts gerichtete Bewegung der Farbstofflösung, bis zu den geöffneten Mündungsstellen der Bahnen hin. Nur durch bedeutende Annäherung der einzelnen Einkerbungen und Steigerung ihrer Zahl gelingt es, einzelne Holzstränge schliesslich ausser Action zu setzen. Dann bleibt auch die Einkerbungsfläche an der betreffenden Stelle ungefärbt. — Es kann unter Umständen auch vorkommen, dass aus dem stark imbibirten Gewebe einer Einkerbungsfläche eine Wasserbahn auch Farbstofflösung aufnimmt und so gefärbt sich zeigt, ungeachtet eine directe Zufuhr von Farbstofflösung von ihr abgeschnitten war. Ich habe daher vielfach, um diese Fehlerquellen auszuschliessen, die Einkerbungsstellen mit Fett bestrichen.

Bei Vitis vulpina reichen die tangentialen Verbindungsbrücken nicht aus, um die durch entgegengesetzt gerichtete

Einkerbungen veranlassten Leitungsstörungen auszugleichen. Das Aufsteigen der Farbstofflösung wird relativ leicht verhindert, und es tritt ein rasches Welken der Blätter an dem Sprosse ein.

Quetschung, Durchschneidung und Knickung der Leitungsbahnen.

Wie die Einkerbungsversuche, fallen auch die Knickungs- und Quetschungsversuche verschieden aus, je nach dem verschiedenen anatomischen Bau der Organe, und je nachdem durch diese Eingriffe die Leitungsbahnen wirklich verschlossen werden oder nicht, eine Beschädigung oder Durchbrechung erfahren.

Das beste Versuchsobject, welches mir in dieser Richtung bekannt wurde, liefern die Cucurbitaceen, bei welchen man es so ziemlich in der Gewalt hat, den Erfolg eines jeden Versuches im Voraus zu bestimmen. Zunächst kann mancher Erfolg selbst bei gespannter Erwartung überraschen. Zerquetscht man beispielsweise den Blattstiel des grossen, saftreichen Blattes von Cucurbita Pepo 1 bis 2 cm weit mit einer flachen Drahtzange und legt eine Holzklemme an, die man stark anzieht, so bleibt das Blatt nichtsdestoweniger frisch und erhält sich wohl 14 Tage und darüber am Leben. Dabei füllt es sich mit Stärke an, da die Gewebe an der zerdrückten Stelle diese nicht abzuleiten vermögen. Betrachtet man hierauf an dem abgeernteten Blatte die bandartig flachgedrückte Stelle von aussen, so möchte man meinen, alle Gefässe seien in derselben geschlossen gewesen, und doch ist dies nicht der Fall. Hiervon überzeugt man sich leicht, wenn man den Blattstiel eines so präparirten Blattes mehrere Centimeter tief unter der Klemme abschneidet und mit der Schnittfläche in wässrige Eosinlösung stellt. Der Farbstoff tritt alsbald in die Lamina ein und markirt innerhalb des flachgedrückten Blattstiels die benutzten Bahnen. Von diesen stellt man nunmehr bei eingehender Untersuchung leicht fest, dass sie nicht völlig verschlossen waren. Ja man hat in diesem und in anderen Fällen Gelegenheit, zu constatiren, dass es überhaupt eines äusserst starken Zusammenpressens der Untersuchungsobjecte bedarf, um alle Gefässe zu

schliessen. Dieselben bleiben bei krautartigen Pflanzen innerhalb des zerdrückten Gewebes, wenigstens zum Theil, noch offen, solange als die Dicke der zerdrückten Stelle nicht unter ihren Durchmesser sinkt. Da aber die offenen Gefässe innerhalb der zerdrückten Gewebe zunächst noch zu functioniren fortfahren, so pflegen solche Quetschversuche sehr oft zu gelingen. Ich habe dieselben mit bestem Erfolg an sehr verschiedenen Pflanzen ausgeführt und werde später wiederholt noch Gelegenheit haben, auf solche Versuche zurückzukommen. — Quetschversuche an Stengeln habe ich in besonders grosser Zahl bei Bryonia dioica vorgenommen. Es wurden Stengelglieder in einer Ausdehnung von 1 bis 8 cm mit einer 1 cm breiten Drahtzange so vollständig zerquetscht, dass sich hierbei die Gefässbündelstränge von dem umgebenden Gewebe mehr oder weniger vollständig zu trennen pflegten, und hierauf Holzklemmen angelegt. Diese Holzklemmen bestanden aus zwei flachen Holzstückchen, die entweder der Länge oder der Quere nach, je nach der Ausdehnung der gequetschten Stelle, aufgelegt und durch eiserne Klemmen, wie sie zum Verschluss von Gummischläuchen dienen, aneinander gepresst wurden. Je nach dem angewandten Drucke war es möglich, den Transpirationsstrom ganz oder theilweise oder überhaupt nicht zu unterbrechen, eventuell durch ungleichmässige Annäherung der beiden Holzstückchen es zu bewirken, dass der Strom nur an einer Seite passirte. Für alle Fälle war aber ein sehr bedeutender Druck nothwendig, um einen vollen Abschluss des Transpirationsstromes zu erlangen. Die kräftigste Zerquetschung der Stengelglieder mit der Drahtzange genügte an sich nicht, um den Wasserstrom abzuschneiden; die Gefässwände sind so elastisch, dass sie nach aufgehobenem Druck wieder in ihre frühere Lage zurückkehren. Es musste die Holzklemme somit die Gefässe geschlossen halten, und das geschah erst bei stärkster Anziehung der Schrauben, wenn der Querschnitt des Stengelgliedes an der betreffenden Stelle bis unter 0,3 cm gebracht worden war. Andere Bahnen als die trachealen schlug aber der Farbstoff in keinem dieser Versuche ein, und die bandartig flachgedrückten, durchscheinend gewordenen Stengelglieder boten, soweit sie noch durchlässig geblieben und ihnen Eosinlösung dargereicht worden, die Gefässbündel als rothe Fäden innerhalb des sonst farblosen Gewebes, unmittelbar dem Auge

dar. Die Klemmversuche wurden übrigens zunächst stets an der bewurzelten Pflanze ausgeführt, und meist erst nach 2 Tagen, auch wohl später, während welcher Zeit die Pflanze über der Klemme durchaus frisch geblieben, schnitt ich sie mehr oder weniger tief unterhalb der Klemme im Wasser durch und setzte sie in wässrige Eosinlösung. Der Stengeltheil innerhalb der bandartig zerdrückten Stelle fühlte sich meist, wenn er von seinen Klemmen befreit wurde, schon trocken an, die Gefässbündelbahnen allein hatten das Wasser geführt. — In einer ganzen Reihe von Versuchen habe ich andererseits die Leitungsbahnen durchschnitten. Ich zog aus der Erfahrung Nutzen, dass sich in dem gequetschten Stengel die Gefässbündel von den Parenchymen trennen, hierdurch aber ihre Leitungsfähigkeit nicht verlieren, um diese Versuche zu unternehmen. Die einzelnen Gefässbündel wurden nach erfolgter Zerquetschung des Stengels durch einen Schlitz der Epidermis mit feiner Scheere erreicht, in verschiedener Höhe durchschnitten und hierauf die Holzklemme, doch bei nur schwachem Drucke, aufgesetzt. Die überliegenden Stengeltheile welkten allemal, wenn alle Gefässbündelbahnen der Operation unterworfen worden waren, sie welkten nur theilweise, wenn eine Anzahl Bahnen undurchschnitten blieb. Die zurückgelassenen Bahnen konnten weiterhin leicht mit wässriger Eosinlösung besonders markirt werden. — Ich modificirte endlich auch noch den Versuch dahin, dass ich einen Stengeltheil, ohne ihn zu quetschen, auf eine kurze Strecke hin seitlich aufschlitzte und nunmehr die einzelnen Gefässbündel mit einer sehr spitzen Scheere zu erreichen und zu durchschneiden suchte. Die Wundränder wurden hierauf einander genähert und der betreffende Stengeltheil mit Staniol umwickelt. Dem operirten Stengeltheile war am nächsten Tage oft kaum etwas von der Operation äusserlich anzusehen, und doch fiel das Resultat völlig übereinstimmend mit den vorhergehenden aus. — Bei allen diesen Durchschneidungsversuchen musste es auffallen, wie oft das Zurücklassen von nur wenigen undurchschnittenen Gefässbündeln, schon das Welken der überliegenden Stengeltheile verhindern konnte. Waren auch nur zwei kleine Gefässbündel des äusseren Kreises verschont geblieben, so trat nur halbes Welken ein, ein grosses und ein kleines Gefässbündel reichten schon aus, um die oberen Sprosstheile Tagelang in annähernd normaler Turgescenz zu erhalten. —

Wurden Sprosse mit durchschnittenen Gefässbündeln kurz unterhalb der operirten Stelle in wässrige Eosinlösung eingesetzt, so pflegten bereits die durchschnittenen Gefässbündel nur noch wenig und nur auf kurze Strecken hin Farbstoff aufzunehmen. Die Aufnahme durch die Gefässbündel wurde um so vollständiger, je weiter die operirte Stelle von dem unteren Querschnitt ablag.

Würde bei Bryonia der Transpirationsstrom sich innerhalb der Zellwände bewegen, so ist es klar, dass bei den Klemmversuchen der Strom nicht gerade in dem Augenblicke hätte aufhören dürfen, in welchem die Hohlräume der trachealen Bahnen zugedrückt wurden. Dass die Operation selbst die Leitungsfähigkeit nicht störte, lehrte ja der Umstand, dass jede Bahn benutzt wurde, sobald sie nicht vollständig verschlossen war. Das liess sich aber nicht allein mit Farbstofflösung an abgeschnittenen, somit in abnormen Verhältnissen befindlichen Pflanzen ermitteln, sondern zuvor schon an dem Erfolg des stattfindenden oder ausbleibenden Welkens an der bewurzelten Pflanze sicherstellen. Die Farbstoffversuche an den abgeschnittenen Sprossen dienten hierauf nur zur Controle.

Fortwachsende Sprossenden vertrugen je nach dem Zustande ihrer Entwicklung das Klemmen mehr oder weniger gut. Wurde die Klemme so hoch angebracht, dass die geklemmte Stelle nur Vasalprimanen als fertige Leitungsbahnen enthielt, so welkte das darüber befindliche Sprossende unausbleiblich. Wurde die Klemme tiefer, etwa in den nächst unteren Internodien angebracht, wo ausser den Primanen eine Anzahl fertiger Gefässe schon vorlag, so welkte das Sprossende nicht, hörte aber auf zu wachsen. Ein tiefer gelegener Seitenspross pflegte dann alsbald in bevorzugte Entwicklung zu treten.

Knickungen stören bei Bryonia so wenig den Transpirationsstrom, dass man sie fast in beliebiger Anzahl anbringen kann, ohne ein Welken der überliegenden Theile zu veranlassen. Ich habe bis 15 Knickungen hintereinander ausgeführt und durch Gummibänder die geknickten Theile in ihrer Lage erhalten, und doch ging das Wasser, wie der Farbstoff, durch die Gefässe an den Knickungsstellen überall durch. — Andere Pflanzen fand ich hingegen, welche Quetschungen besser als Knickungen vertrugen, worauf später noch zurückzukommen sein wird.

Erwähnt sei an dieser Stelle, dass Kohl[1]) an Zweigen von Testudinaria elephantipes und Aristolochia ornithocephala und an Blattstielen von Polypodium Reinwardtii mit Korklamellen inwendig ausgekleidete Metallklemmen anbrachte und durch Anziehen der Klemmschraube den Transpirationsstrom nach Belieben herabsetzen oder ganz sistiren konnte. Eine Lüftung der Klemme hatte eine Steigerung beziehungsweise eine Wiederaufnahme der Transpiration zur Folge. Kohl glaubte hierin auch bereits einen unumstösslichen Beweis „für die Bewegung des Transpirationsstromes in den Lumina“ zu finden. — Ebenso geben Francis Darwin und Reginald Philipps[2]) an, durch Zusammenpressen der Versuchszweige den Transpirationsstrom verlangsamt zu haben.

Im Anschluss an die von mir vorgenommenen Durchschneidungen der einzelnen Gefässbündel von Bryonia sei an eine alte Angabe von Treviranus[3]) erinnert, der zufolge ein Rüsselkäfer bei verschiedenen Rosaceen ein ähnliches Experiment anstellt. Ein kleiner, schwarzer Rüsselkäfer (Rhynchites minutus Herbst) veranlasst das rasche Welken der Blätter und oberen Stengeltheile von Potentilla, Geum, Spiraea dadurch, dass er einen Kreis von Löchern in den Blattstiel oder den Stengel bohrt und die Gefässbündel, die er wahrscheinlich aussaugt, zerstört. Das Zellgewebe der Rinde und des Markes soll bei dieser Operation nur unbedeutende Verletzung erfahren.

Aufsteigen giftiger Flüssigkeiten bis zu bedeutender Höhe in der Pflanze.

Bereits nahm ich Gelegenheit, darauf hinzuweisen, dass die wässrige Eosinlösung alsbald giftige Wirkungen auf die Gewebe ausübt. Die lebendigen Elemente, welche die trachealen Bahnen umgeben, werden getödtet und speichern den Farbstoff auf. Ihr Aussehen unter dem Mikroskop lässt auch nicht den geringsten Zweifel darüber bestehen, dass ihr Tod erfolgte. Nichtsdesto-

1) Zur Wasserleitungsfrage, Bot. Ztg. 1885, Sp. 522.

2) On the transpiration stream in cut branches, Proceed. of the Cambr. Phil. Society, Vol. V, P. V, p. 364, Cambridge 1886.

3) Physiologie der Gewächse, 1835, Bd. I, p. 315.

weniger fahren diese Objecte fort den Transpirationsstrom zu unterhalten. Letzterer kann somit nicht an das Leben der die trachealen Bahnen umgebenden Elemente gebunden sein. Bei Pflanzen oder Pflanzentheilen von geringer Höhe könnten aber bei eingeleiteter Transpiration, Luftdruckdifferenzen den Wasserstrom unterhalten, weshalb es angezeigt erschien, Steigversuche mit der Farbstofflösung auch an Pflanzentheilen anzustellen, deren Höhe 10,3 m überstieg.

Die Versuche wurden zunächst mit Wistaria sinensis ausgeführt. Die Südostseite des Poppelsdorfer Schlosses wird von Wistaria-Pflanzen gedeckt, die stellenweise bis zu 20 m Höhe aufsteigen. In dichtem Gefüge wuchsen einzelne Aeste zu bedeutender Länge bei geringer Dicke, fast ohne sich zu verzweigen, an. Belaubt waren solche Aeste nur an ihrem oberen Ende. Ihrer Biegsamkeit und des geringen Gewichtes wegen boten solche Aeste ein vorzügliches Object für die geplanten Versuche. Zunächst wurden die Aeste vorsichtig aus ihrer Umgebung befreit und, noch mit dem Mutterstamm verbunden, am Poppelsdorfer Schloss emporgerichtet. Mit 10,5 m Höhe waren die Fenster des botanischen Instituts erreicht; von den Dachfenstern des Schlosses aus war ein Aufrichten noch wesentlich längerer Aeste möglich. Hierauf wurden die Aeste über dem Boden in Wasser eingebogen und unter diesem durchschnitten; verweilten eine Stunde, auch wohl länger, mit der Schnittfläche im Wasser und gelangten hierauf in die wässrige Eosinlösung.

Ein 14 m langer, 0,5 cm dicker Stamm, der erst in 12,5 m Höhe Blätter trug, wurde am 14. Juli um 8 Uhr Morgens in wässrige Eosinlösung gesetzt. Am nächsten Tage um 8 Uhr Morgens, also nach 24 Stunden war der Farbstoff in den Gefässbündelenden auch der obersten Blätter nachzuweisen. Die Blätter begannen von dem Farbstoff zu leiden und welk zu werden. Ein in 11,5 m Höhe entspringender Seitenzweig, der beim Freimachen des Stammes gelitten, bis auf einen 80 cm langen blattlosen Stumpf zurückgeschnitten und an der oberen Schnittfläche mit Wachs zugeschmiert worden war, zeigte sich nur 5 cm weit gefärbt.

Ein anderer Wistaria-Ast von 15 m Länge, 1,6 cm basaler Dicke diente zu einem zweiten Versuche. Dieser Ast war reichlicher verzweigt, zum ersten Mal bei 5,2 m, dann bei 6,1 m und 9,5 m Höhe. In 7 m Höhe ging ein bis auf seine

Ursprungsstelle bereits todter, 30 cm langer Zweigstumpf ab. Der Ast wurde am 20. Juli bei klarem Himmel um 8 Uhr Morgens in die wässrige Eosinlösung gestellt; von 12 Uhr an befand er sich im Schatten; die Temperatur stieg im Schatten bis auf 26° C. Um 5 Uhr Nachmittags war der Farbstoff bereits in 10 m Höhe in den Blättern nachzuweisen, am nächsten Morgen fand ich ihn schon oben. In den todten Zweigstumpf trat überhaupt kein Farbstoff ein.

Ein 14 m langer Ast von Wistaria sinensis, welcher die ersten beblätterten Seitenzweige erst in 12,5 m Höhe trug, wurde von seiner Ursprungsstelle dicht über dem Boden, bis fast an die Blätter des oberen Endes heran, durch Eintauchen in erwärmtes Baumwachs, mit diesem, anscheinend luftdicht, überzogen. Der Ast blieb so, am Poppelsdorfer Schlosse aufgerichtet, sechs Tage lang mit seinem Mutterstamm in Verbindung stehen. Er zeigte sich nach dieser Zeit, ungeachtet der Gasaustausch durch die Rinde so gut wie ausgeschlossen sein musste, nicht merklich verändert. Das hätte kaum der Fall sein dürfen, wenn in den an die Wasserbahnen grenzenden Zellen, der Annahme von Godlewski gemäss [1]), durch Athmung freiwerdende Kräfte an der Arbeit der Wasserhebung betheiligt gewesen wären. — Nach Ablauf von 6 Tagen wurde der Ast an seiner Basis unter Wasser abgeschnitten und dann in Eosinwasser gestellt. Ebensowenig als der 12,5 m lange Wachsüberzug des Astes zuvor die Wasserzufuhr aus dem Boden verhindert hat, störte er jetzt die Aufnahme des Farbstoffes durch den Querschnitt und seinen Aufstieg. Nach 24 Stunden war die Färbung auch in den Blattpolstern der obersten Blätter nachzuweisen; die Blätter begannen zu welken.

Ein an einer Ulme im Schatten erwachsener, 11,5 m hoher Stamm von Hedera Helix, an der Basis 2,5 cm dick, vorwiegend nur mit kurzen Seitenzweigen besetzt, in solcher Weise aber bis tief hinab belaubt, wurde unter Wasser durchschnitten, volle 24 Stunden mit der unteren Schnittfläche in Wasser gelassen und hierauf erst in wässrige Eosinlösung gesetzt. Der Versuch begann am 15. September und wurde bis zum 26. d. M. ausgedehnt. Das Wetter war kalt und regnerisch;

1) Zur Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 606.

der Stamm nahm 2,5 Liter Flüssigkeit auf. Die Untersuchung zeigte den Stamm bis 11 m Höhe gefärbt. Die Färbung schränkte sich von 10 m an auf den äussersten Jahresring ein, sie hörte auf innerhalb der grünen, dünnen Gipfeltriebe.

Am 18. Juni wurde bei warmem, sonnigem Wetter ein 13-jähriger, 8 cm dicker Stamm von Robinia Pseudacacia, der im dichten Bestande, als s. g. Stangenholz, zu 11,5 m Höhe emporgewachsen war, im starken Wasserstrom schräg an seiner Basis abgesägt, unter Wasser an der Schnittfläche geglättet und, nach einstündigem Verweilen im Wasser, in wässrige Eosinlösung übergeführt. Dieser Stamm war von anderen übergipfelt, so dass der grösste Theil seiner Krone im Schatten stand; seine Belaubung begann bei 9 m Höhe. Er nahm in 24 Stunden ca. 1 Liter Farbstofflösung auf. Der Versuch begann um 7 Uhr Abends. Als der Baum am nächsten Abend umgelegt wurde, war er noch nicht welk. Der Farbstoff reichte bis zum Gipfel, war aber nicht in allen Zweigen und Blättern nachzuweisen. Von 7 m Höhe an waren nur noch die Gefässe des diesjährigen und die engen Gefässgruppen des Spätholzes des vorjährigen Holzes gefärbt.

Gegen den Erfolg dieser Versuche liess sich einwenden, dass die wässrige Eosinlösung nicht hinreichend rasch tödte, somit der Beweis einer Nichtbetheiligung der lebendigen Elemente an der Arbeit des Wassertransportes durch diese Versuche auch nicht geliefert sei. Die Möglichkeit dieses Einwandes, dessen Berechtigung nicht ohne weiteres in Abrede gestellt werden soll, veranlasste mich, diese Steigversuche mit unmittelbar tödtenden Flüssigkeiten, zum Theil Farbstofflösungen, zum Theil leicht nachweisbaren Salzen zu wiederholen. Als vorzüglich zu den Versuchen geeignet erwiesen sich Lösungen von Kupfersulfat und in den meisten Fällen auch alcoholische Eosinlösungen. Ich hatte zuvor schon erwähnt, dass spirituslösliches Eosin, in Alcohol von 96° gelöst, in Fliesspapierstreifen ebenso rasch wie sein Lösungsmittel aufsteigt; für Kupfersulfat ist dasselbe bereits von Sachs nachgewiesen worden[1]). Gut bewährte sich, bis zu einem gewissen Grade, auch die Carbolsäure, mit der ich aber nur einen grösseren Versuch ausführte. Die Carbolsäure wurde mit Eosin gefärbt, in dreiprocentiger

1) Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg, Bd. II, p. 162.

Concentration angewandt. Diese Lösung steigt auch im Fliesspapier nach Wunsch; in 2 Stunden hatte das Lösungsmittel ca. 20 cm, der Farbstoff 18 cm Steighöhe erreicht; der Farbstoff war somit viel weniger hinter der Carbolsäurelösung als hinter reinem Wasser zurückgeblieben.

Der Eosin-Alcohol-Versuch fiel mit Wistaria ungünstig aus. Ein 10,5 m langer, 1,4 cm dicker Ast, der in Eosin-Alcohol Anfang Juli um 4 Uhr Nachmittags gestellt wurde, begann zu welken erst nach 64 Stunden. Der betreffende Stamm trug die ersten Blätter erst in 8,3 m Höhe; weiterhin war er ziemlich stark belaubt. Der Ast zeigte sich bei der Untersuchung im unteren Theile bis zu 2 m Höhe sehr intensiv gefärbt, und zwar nicht allein die Gefässe, sondern auch alle anderen Elemente des Holzkörpers. Eosin-Alcohol giebt überhaupt weit diffusere Färbung als Eosin-Wasser. Sein Verhalten ist eben aus diesem Grunde sehr instructiv, weil es nochmals zeigt, wie kritisch man bei Beurtheilung von Färbungsbildern vorgehen muss. Der Eosin-Alcohol diffundirt eben weit schneller durch die umgebenden Membranen als das Wasser-Eosin und ruft daher auch sich rasch ausbreitende Tinctionen hervor. In den unteren Theilen des untersuchten Wistaria-Astes waren auch alle Jahresringe, mit Ausnahme des innersten, gefärbt, und so auch das Cambium und die inneren Basttheile. Bei 2,5 m Höhe zeigte sich die Färbung bereits auf die äusseren Jahresringe des Holzkörpers beschränkt, erstreckte sich aber zum Theil auch noch auf das Cambium. Höher hinauf bildete der Farbstoff nur noch seitlich isolirte Flecke. In 4 m Höhe zeigte er sich auf einzelne enge Gefässgruppen der Peripherie beschränkt und hörte oberhalb 6 m ganz auf. Die Blätter waren so lange frisch geblieben, weil sie der Alcohol nicht erreichte. Starke Diffusionsvorgänge störten bei Wistaria den Aufstieg von Alcohol, und zwar machten sich die Hindernisse, je höher hinauf, um so mehr geltend.

Anders war der Erfolg bei Wistaria, als ich statt des Eosin-Alcohols Kupfersulfat anwandte. Ich benutzte zunächst eine 5%ige Lösung. In einem 12 m langen Aste, der in diese Lösung um 4 Uhr Nachmittags gestellt wurde, konnte am nächsten Morgen um 8 Uhr, somit nach 16 Stunden, das Kupfersulfat schon in den obersten Blattgelenken leicht mit gelbem Blutlaugensalz nachgewiesen werden. Noch am Vormittage desselben Tages welkten sämmtliche Blätter. Der in Stücke zerlegte Ast

zeigte sich bis in die obersten Zweige hinein mit Kupfersulfat imprägnirt. Die Anwendung des gelben Blutlaugensalzes für den Nachweis war hier nicht einmal nöthig, da der Holzkörper deutlich eine blaue Färbung zeigte. Dass das Kupfersulfat alle lebendigen Elemente des Holzkörpers getödtet haben musste, lag auf der Hand und konnte auch allen diesen Elementen unter dem Mikroskop direct angesehen werden. Es liesse sich vorstellen, dass die Kupfersulfatlösung bis zu 10 m Höhe durch Saugung gehoben worden sei, um aber bis zu 12 m zu gelangen, musste die nachströmende Flüssigkeit eine Bahn durchlaufen, die länger als 10 m, und nur noch von todten Elementen umgeben war. Mit der Tödtung der Blätter hörte hingegen die Entnahme von Lösung aus den trachealen Bahnen und somit auch eine weitere Flüssigkeitsaufnahme durch den unteren Querschnitt auf.

Der Ausfall des Versuches wurde nicht anders, als ich hierauf an Stelle des 5% ein 10% Kupfersulfat anwandte. Ein 11 m langer Ast, der um 4 Uhr Nachmittags in diese Lösung gestellt worden war, zeigte sich nach 20 Stunden imprägnirt bis zum Gipfel. Die Blätter waren im Absterben begriffen. Auch ein 15 m langer Ast, den ich hierauf in 10% Kupfersulfatlösung stellte, zeigte das Kupfersulfat nach 48 Stunden in den obersten Blättern. Dieser Ast lief oberhalb der letzten Blätter in ein 40 cm langes, blattloses Flagellum aus, und auch dieses zeigte sich, wenn auch nur in einem Theile der Holzstränge, von Kupfersulfat durchdrungen. Nach $2^1/_2$ Tagen waren die tiefer inserirten Blätter bereits ganz dürr, die obersten im Absterben begriffen. Bis zu 15 m Höhe konnte somit, ohne Betheiligung lebendiger Elemente, Flüssigkeit, mit einer dem Transpirationsstrom gewohnten Schnelligkeit, gehoben werden. Zu dieser Leistung reichten andererseits Luftdruck und Capillarität, auch zusammengenommen, selbst bei Vernachlässigung aller Widerstände, nicht aus.

Der Erfolg mit der 10% Kupfersulfatlösung führte mich endlich dahin, auch noch einen Versuch mit gesättigter, annähernd 36% Kupfersulfatlösung auszuführen. Auch diese stieg wie die anderen. In einem 12 m langen Ast liess sich die Kupferreaction nach 20 Stunden auch in den Gelenken der obersten Blätter nachweisen, doch waren diese Blätter selbst nach 36 Stunden noch nicht ganz todt, vielmehr nur dunkel

gefleckt. Diese concentrirte Lösung breitete sich augenscheinlich langsamer in der Umgebung aus.

Ein 11 m langer, 1,2 cm dicker Wistaria-Ast wurde endlich in die 3% mit Eosin tingirte Carbolsäurelösung gesetzt. Dieser Ast trug einen kurzen Seitenzweig in 7 m Höhe, an welchem nach 24 Stunden die Blätter zu welken anfingen. Die Untersuchung wurde nach 36 Stunden vorgenommen. Die Färbung zeigte sich zunächst, mehrere Meter hoch, sehr intensiv. Sie erschien noch diffuser als bei Eosin-Alcohol, erstreckte sich über alle Elemente des Holzkörpers und bis in den Bast hinein. In 7 m Höhe schränkte sich die Färbung auf den letzten Jahresring ein und nahm weiterhin noch mehr ab, so dass in 9,5 m Höhe nur noch die engen Gefässgruppen Farbstoff führten. In 10,5 m Höhe hörte die Färbung endlich vollständig auf. Die Blattgelenke der etwas höher entspringenden Blätter waren demgemäss auch ungefärbt.

Bei Robinia Pseudacacia schlug der Versuch mit Eosin-Alcohol weit besser als bei Wistaria an. Das erklärt sich daraus, dass der Alcohol bei Robinia weit weniger als bei Wistaria in die Umgebung diffundirt, weit mehr auf die trachealen Bahnen eingeschränkt bleibt.

Ein 12-jähriger Stamm, 8 cm dick, demjenigen ganz ähnlich, der zu dem Versuche mit wässriger Eosinlösung gedient hatte, und 11,5 m hoch wie jener, wurde am 20. Juni, um 7 Uhr Abends, bei hellem, warmem Wetter, nachdem er ganz dieselbe Behandlung wie der andere Stamm erfahren, in Eosin-Alcohol gestellt. Dieser Baum trug eine stärkere Laubkrone als der erste, die Verzweigung begann bei 8,6 m. Er nahm bis 4 Uhr Nachmittags des nächsten Tages, also in 21 Stunden, 1,9 Liter Eosin-Alcohol auf. Um 7 Uhr Morgens hatten die Blätter eines schwachen, in 6 m Höhe entspringenden Seitensprosses zu welken begonnen, und 9 Uhr Morgens bereits die oberen. Bei der mikroskopischen Untersuchung des in meterlange Stücke zerlegten Stammes erwiesen sich der diesjährige und die beiden vorausgehenden Jahresringe als frei von Thyllen. Die Färbung war im Schafte sehr intensiv und bildete in den unteren Theilen desselben einen 2 bis 5 mm breiten Ring. Innerhalb dieses Ringes traten bereits die Gefässe und Gefässgruppen durch wesentlich dunklere Färbung hervor. Weiter hinauf localisirte sich diese Färbung immer mehr auf die Ge-

fässe; somit sind bei Robinia auch mit Eosin-Alcohol ziemlich reine Gefässfärbungen zu erreichen. Ja der Umstand, dass der Alcohol hier so ziemlich auf die Gefässe localisirt bleibt und nicht gleich in das ganze umgebende Gewebe diffundirt, bedingt, wie schon bemerkt wurde, das günstige Ergebniss, das man hier im Gegensatz zu Wistaria erhält. Aus diesem Ergebniss geht hervor, dass der Alcohol den nämlichen Weg wie der Wasserstrom in der Pflanze verfolgt. Es waren tingirt, ganz wie in Eosin-Wasser-Präparaten, alle Gefässe des diesjährigen Holzringes und die engen Gefässgruppen des Spätholzes der beiden vorausgehenden Jahre. Von 7 m Höhe an hielt sich die Färbung nur an das diesjährige Holz; so auch bei 9 m Höhe und in den Zweigen bis zum Gipfel. Der ganze Baum war in der schönsten und instructivsten Weise gefärbt. Der Farbstoff gelangte bis in die Mittelnerven der Blättchen, war aber nicht in die Lamina getreten.

Am 2. August wurde alsdann eine noch grössere Robinia der Untersuchung geopfert. Stangenholz wie die beiden ersten Bäume, erreichte dieser Baum 15 m Höhe. In 6,8 m gabelte er sich in zwei fast gleich starke Stämme. Die ersten belaubten Aeste entsprangen bei 10 m Höhe; die Kronentfaltung begann bei 12 m. Der Baum war an seiner Basis 15 cm dick und zählte dort, wie die spätere Untersuchung zeigte, 18 Jahresringe. Die Vorbereitungen zu dem Versuch blieben die nämlichen wie in beiden ersten Fällen, verlangten nur einen grösseren Aufwand an Menschenkräften und Flaschenzügen, da die zu bewältigende Last bereits eine bedeutende war. Die Temperatur stieg an diesem Tage, bei wolkenlosem Himmel, um die Mittagszeit auf 26 ° C im Schatten. Um 11 Uhr Morgens gelangte der Baum in den Eosin-Alcohol; um 7 Uhr Abends desselben Tages begann die Krone in dem unteren Theile etwas zu welken. Am nächsten Morgen um 6 Uhr war die Krone fast vollständig, um 9 Uhr vollständig welk. Der Baum wurde nun umgelegt und in entsprechend lange Stücke geschnitten. Die Färbung war hier die nämliche wie in dem vorhergehenden Baume, reichte auch, nur mit abnehmender Intensität und schliesslicher Einschränkung auf den letzten Jahresring, bis zu 13 m Höhe. Oberhalb 12 m war sie nur noch sehr schwach. Der Baum hatte annähernd 3 Liter Alcohol-Eosin aufgenommen.

Ein Epheu-Stamm von 11 m Höhe, an der Basis 2 cm dick, wurde am 15. September um 8 Uhr Morgens unter Wasser durchschnitten und blieb hierauf 24 Stunden im Wasser stehen, dann kam er in Eosin-Alcohol, in welchem er bis zum 26. September Nachmittags verweilte. Das Wetter war kühl und regnerisch, für den Versuch wenig günstig; der Epheu-Stamm nahm trotzdem ca. 700 ccm Eosin-Alcohol auf. Der Farbstoff war an Querschnitten bis zu 10,5 m Höhe innerhalb des Stammes zu verfolgen. Die Intensität der Färbung nahm mit der Höhe ab. Ganz hörte die Färbung erst in den grösseren Gipfeltrieben auf. Mit diesem Stamm war an einer 1 cm hohen, 0,5 cm breiten Stelle, ein anderer schwacher Epheu-Stamm von 1 cm Dicke verwachsen. Dieser Stamm war vor unbestimmter Zeit an seiner Basis abgebrochen worden und fristete seitdem ein kümmerliches Dasein, indem er auf die Verwachsungsstelle mit dem Nachbarstamm, als auf den einzigen Ort der Zufuhr roher Nahrungssäfte, angewiesen war. Durch diese Stelle nahm er jetzt auch den Eosin-Alcohol aus dem Nachbarstamm auf und war derselbe in seinem Holzkörper 2 m aufwärts und auch 1 m abwärts gedrungen. Er verbreitete sich von der Verwachsungsseite aus allmählich über den ganzen Umkreis. Wie die mikroskopische Untersuchung lehrte, gingen nur die äussersten Jahresringe beider Stämme continuirlich in einander über. — Ein anderer, 15 m langer, 2,5 cm dicker Stamm, der am 12. Juli um 11 Uhr Vormittags unter Wasser durchschnitten und eine halbe Stunde später in Eosin-Alcohol übergeführt wurde, nahm bis zum 22. Juli 1,9 Liter von dieser Flüssigkeit auf; das Wetter war ungünstig gewesen, täglich Regen und relativ niedrige Temperatur, daher ich den Abschluss des Versuches so lange hinausschob. Der Stamm wurde erst in Stücke gesägt als er 24 Stunden lang keine merkliche Eosin-Alcohol-Aufnahme mehr verrathen hatte. Bis zu 5 m Höhe zeigte sich der Stamm ganz bis an den äusseren Kork und an das innere Mark durchfärbt. Höher hinauf localisirte sich die Färbung allmählich auf den Holzkörper und bis ca. 12,5 m war sie auf die äusseren Jahresringe desselben beschränkt. Die Färbung reichte 14 m hoch hinauf, so weit als das vorjährige Holz. In den diesjährigen Trieben war kein Farbstoff nachzuweisen. Auch an tiefer entspringenden Seitenzweigen drang das Alcohol-Eosin schlecht in den erstjährigen

Zuwachs ein. Daher die Blätter nur so weit gefärbt erschienen und so weit von dem Alcohol gelitten hatten, als sie alten Stammtheilen entsprangen. Im Uebrigen hatte die Pflanze noch normales Aussehen; alle Endtriebe erschienen völlig frisch. — Ein dritter, nur 10,5 m langer Stamm hatte kurz zuvor seine Eosin-Alcohol-Aufnahme unter günstigeren Bedingungen an warmen, regenfreien Tagen vollzogen. Nach dreimal 24 Stunden war der Farbstoff schon bis zum Gipfel der Pflanze gelangt. Er trat dort auch in die diesjährigen Triebe ein, doch nur so weit, als der secundäre Zuwachs in denselben reichte. Bei den primären Gefässtheilen hörte er auf. Demgemäss blieben auch die über jenen Stellen inserirten Blätter an den letzten ca. 30 cm langen Enden der Sprosse ungefärbt. Dieser Stamm war an seiner Basis 1,2 zu 1,7 cm dick, er nahm in den drei Tagen 1,1 Liter Flüssigkeit auf.

Ein schlanker, 14,3 m hoher Ast der Pyramidenpappel (Populus dilatata pyramidalis), an seiner Basis 12 cm dick, wurde am 17. September, um 10 Uhr Morgens, in 5 % Kupfersulfatlösung gesetzt. Am Nachmittag desselben Tages begannen die Blätter im unteren Theile zu welken; zwei Tage später waren des Nachmittags die sämmtlichen Blätter bereits welk und hatten sich dabei verfärbt. Die Untersuchung am nächsten Morgen ergab, dass das Kupfersulfat bis in den Gipfel reichte, doch war die Imprägnirung der oberen Seitenzweige unvollkommen. Von den 14 Jahresringen hatten nur die 6 äusseren, in den oberen Theilen des Astes nur die 4 äusseren, zuletzt sogar nur die 2 äusseren das Kupfersulfat aufgenommen. Der Ast verbrauchte 4,3 Liter Kupfersulfatlösung.

Ich bemerke nochmals, um Wiederholungen zu vermeiden, dass auch alle die folgenden mit hohen Bäumen ausgeführten Versuche, so wie die vorhergehenden, in der Weise zur Ausführung gelangten, dass der Baum etwas schräg, unter starkem, nach der Schnittfläche zu gerichteten Wasserstrom abgesägt wurde und hierauf zunächst eine halbe Stunde in Wasser stehen blieb. Dann wurde er mit Flaschenzügen gehoben und an der Schnittfläche mit einem scharfen Messer glatt geschnitten, hierauf kam er in die Versuchslösung.

Ein 17,5 m hoher schlanker Baum von Acer platanoides in engem Bestand erwachsen, daher nur 15 cm dick und nur mit schwacher, gipfelständiger Krone versehen, wurde am

15. Juli in 15% Kupfersulfatlösung gestellt. Er blieb in der Lösung bis zum 5. August und nahm von derselben während dieser Zeit 4,85 Liter auf. An den kleinen, längs des Schaftes vertheilten Sprossen liess die allmähliche, in aufsteigender Richtung erfolgende Verfärbung der Blätter das Vordringen des Farbstoffes erkennen. Am 3. August begannen die Blätter der Krone zu welken und waren am 5. August grösstentheils todt. Der Baum hatte inzwischen einen Theil seiner Blätter schon abgeworfen. In 6 m Höhe war der Schaft noch vollständig, bis auf das Mark, von Kupfersulfat durchtränkt; bei 9 m zeigten sich nur noch etwa die zwei äusseren Drittel, bei 15 m das äussere Drittel des Holzkörpers von Kupfersulfat imprägnirt. Der Baum war 52 Jahre alt.

Ein anderer Acer platanoides, aus demselben Bestande, doch stärker und höher, und zwar 22 cm dick und 21 m hoch, ca. 60 Jahre alt, kam am 16. September Nachmittags in 5% Kupfersulfatlösung. Am 28. September begann die Krone sichtlich zu welken; am 1. October wurde der Baum daher in Stücke zerlegt. Auch dieser Baum hatte einen grossen Theil seiner Blätter geworfen, die vorhandenen waren todt. Er nahm in den 14 Tagen etwas über 30 Liter Flüssigkeit auf. Das Holz zeigte sich, bis auf eine kleine innerste Partie, 14,5 m hoch vollständig imprägnirt. Der Stamm gabelte sich in dieser Höhe, und auch in den beiden Gabelästen war bis zu 18 m Höhe vollständige Durchtränkung des Holzkörpers, eine kleine innerste Partie ausgenommen, erfolgt. Erst in 19 m Höhe, bei dauernd anhaltender Verzweigung, begann sich das Kupfersulfat zu verlieren, und gab an manchen der schwächsten Zweige Bestreichung des Querschnitts mit gelbem Blutlaugensalz nicht mehr die rothbraune Färbung.

Ein anderer, etwas schwächerer und 15 cm dicker Ahornbaum, auch Acer platanoides, wurde ebenfalls am 16. September in 5% Kupfersulfatlösung gestellt. Von der Erfahrung ausgehend, dass Holzringelungen bei Splintbäumen den Transpirationsstrom nicht unterbrechen, liess ich diesen Baum von dem unteren Querschnitt an bis zu drei Meter Höhe abplatten. Es wurde dem Schaft mit dem Flachbeile die Rinde und so viel Holz genommen, dass derselbe deutlich viereckig wurde. Das hinderte den Baum nicht, grosse Mengen von Kupfersulfatlösung aufzunehmen. Schon nach zweitägiger Dauer des Ver-

suchs waren die ganzen blosgelegten Holzflächen deutlich blaugrün. Gegen den 30. September begann der Baum welk zu werden und zeigte sich ganz welk am 3. October, wo er in Stücke zerlegt wurde. Der Baum hatte ebenfalls den grössten Theil seiner Blätter geworfen. Er nahm 26 Liter Kupfersulfatlösung auf. Der 12 m hohe Baum zeigte sich bis in den Gipfel imprägnirt; nur eine kleine mittlere Partie von 3 cm blieb im Schaft ungefärbt. Die ausgebliebene Färbung in einem Theile der letzten Auszweigung war, wie bei den anderen Ahornbäumen, auch in diesem dadurch veranlasst, dass die betreffenden Zweige ihre Blätter geworfen hatten, bevor sie das Kupfersulfat erreichte.

Am 17. September Nachmittags wurde eine in ziemlich dichtem Schluss erwachsene ca. 20 m hohe, 21 cm dicke, ca. 65 Jahre alte Rothbuche (Fagus silvatica) in 10 % Kupfersulfatlösung gestellt. Sie blieb in derselben bis zum 3. October und nahm 35 Liter auf. Nach 9 Tagen fingen die Blätter der Krone deutlich an zu dunkeln und bekamen alsbald ein fahles Aussehen. Der Schaft zeigte sich im unteren Theile, bis auf eine mittlere Partie von 5 cm im Durchmesser, vollständig imprägnirt. Nach oben zu nahm der ungefärbte innere Theil langsam zu, so dass in 9 m Höhe, bei einem Gesammtdurchmesser von 14 cm, die ungefärbte Mitte bereits 8 cm stark sich zeigte. In 12 m Höhe, Gesammtdurchmesser 10 cm, ungefärbter mittlerer Theil 3,5 cm. Noch weiter hinauf nahm der ungefärbte mittlere Theil wieder ab, um schliesslich ganz zu schwinden. Der Baum zeigte sich bis zum Gipfel in allen seinen Theilen durchfärbt.

Nicht anders verhielt sich ein zweites, etwas schwächeres Exemplar der Rothbuche, welches ich bis zu 4,5 m Höhe mit dem Flachbeil so weit abplatten liess, dass es annähernd viereckig wurde. Nach wenigen Tagen begannen die abgeplatteten Holzflächen sich grün zu adern; nach 10 Tagen nahmen die Blätter der Krone dunkle Färbung an. Der Baum verweilte vom 17. September bis zum 3. October in der Kupfersulfatlösung und nahm 19 Liter von derselben auf. Der abgeplattete Schaft zeigte nach der Abplattung 9,5 cm Durchmesser, davon blieben 3 cm der Mitte nicht imprägnirt. Das Kupfersulfat reichte auch bei diesem Baum bis in alle Zweiggipfel.

Eine gesunde, starke, 14 m hohe Fichte (Picea vulgaris)

wurde am 19. September Nachmittags in 5% Kupfersulfatlösung gestellt. Sie erhielt von dieser Lösung 31,5 Liter. Am 23. September Morgens war diese Menge fast aufgebraucht, und daher 5 Liter zugesetzt. Am 24. September Nachmittags erhielt der Baum weitere 23 Liter, endlich am 1. October nochmals 6 Liter. Der Baum kam am 15. November in Untersuchung. Er hatte im Ganzen 65,5 Liter Kupfersulfatlösung aufgenommen. Die Nadeln bräunten sich deutlich schon am 17. October, und der Tod des Baumes konnte zugleich constatirt werden; nichtsdestoweniger nahm er, wie Ablesungen an einer im Gefäss angebrachten Scala ergaben, vom 17. October bis zum 15. November noch 6,7 Liter Flüssigkeit auf. Die Untersuchung lehrte, dass das Kupfersulfat in den unteren Schafttheilen auf den Splint beschränkt war, der an der dicksten Stelle 3,3 cm, an der dünnsten 2 cm Durchmesser zeigte. Der imprägnirte Theil setzte scharf gegen den nicht imprägnirten ab und entsprach durchaus der Grenze von Splint und Kernholz. Ungefähr 28 Jahresringe waren gefärbt, 32 ungefärbt. In 12 m Höhe waren 23 Jahresringe gefärbt, 12 ungefärbt, im Verhältniss von 1,1 cm zu 1,2 cm. Alle Aeste und Zweige gaben bis in die Nadeln hinein mit gelbem Blutlaugensalz prägnanten rothbraunen Niederschlag. Im ganzen Holzkörper, soweit infiltrirt, traten mit lebhaft grüner Farbe die Harzgänge hervor [1]). — Ich hielt es nicht für unwichtig, den Gehalt dieses Holzes an Wasser zu bestimmen, und wog daher mehrere Stücke desselben, welche ich dem Stamme entnehmen liess, gleich nachdem derselbe aus der Kupfersulfatlösung gehoben und umgelegt worden war. Von zwei aufeinanderfolgenden Stammscheiben, 0,5 m über dem unteren Ende entnommen, sammt Rinde 23 cm, ohne Rinde 22,2 cm dick und 17 cm, beziehungsweise 7 cm hoch, wog die erste 6430 gr, die zweite 2246 gr. Am 2. December wog die erste 5122, die zweite 1572 gr. Am 28. December die erste 4470 gr, die zweite 1400 gr. Ein in 13 m Höhe dem Hauptstamm entnommenes, 28 cm hohes Stück wog zunächst 669,5 gr, am 2. December 572 gr, am 28. December 455 gr. — Ein von der Rinde entblöstes 9 cm langes, ohne Rinde 4,1 cm dickes Stammstück, aus derselben Höhe, wog am 15. November 134,5 gr,

---

1) Entsprechend der smaragdgrünen Kupferreaction mit essigsaurem Kupfer, Unverdorben-Franchimont'sches Reagens.

am 18. Nov. 101,5 gr, am 21. Nov. 85 gr, am 25. Nov. 80 gr, am 28. Nov. 79 gr, am 3. December 78,5 gr. Ein anderes, 8,5 cm langes, ohne Rinde 4,1 cm dickes Stammstück, aus derselben Höhe, hatte entrindet am 16. Nov. ein Gewicht von 118 gr aufzuweisen. Dieses Stück wurde in Wasser geworfen, worauf sein Gewicht am 18. Nov. auf 124 gr, am 21. Nov. auf 126 gr, am 25. Nov. auf 127,5 gr, am 28. Nov. auf 128 gr, am 3. December auf 129 gr stieg. Weiterhin war eine Gewichtszunahme nicht mehr zu constatiren, so dass mit einer Aufnahme von 11 gr, d. h. von etwas über 9 %, der unter den gegebenen Verhältnissen höchstmögliche Wassergehalt erreicht worden war.

Das 17 cm hohe, 23 cm dicke Stammstück, das am 28. December noch 4470 gr gewogen hatte, ging im Laufe der nächsten Monate, nachdem es lange Zeit an einem trocknen und warmen Orte gelegen hatte, auf 3860 gr (gewogen am 3. Juni) zurück. Eine weitere Gewichtsabnahme fand nicht mehr statt; das Stammstück konnte somit als lufttrocken gelten. Der Gesammtverlust an Wasser betrug für dasselbe 2570 gr (6430—3860). Angenommen nun, das Gewicht dieses lufttrocknen Stammstückes hätte hinter dem absoluten Trockengewicht, wie sich dasselbe im Trockenkasten erzielen lässt, um 11 % zurückgestanden, d. h. um eine Grösse, wie sie sich aus diesbezüglichen R. Hartigschen Versuchen [1]) berechnen lässt, so würde der Wassergehalt des betreffenden Stammstückes annähernd 2852,7 gr betragen haben. Angenommen nun weiter, dieser Wassermenge hätten nur die ursprünglichen 5 % Kupfersalz entsprochen, eine Zahl, die hinter der Wirklichkeit jedenfalls zurückbleibt, so müsste 142,63 gr Kupfersalz weiter von dem absoluten Trockengewicht des Stammstückes abgezogen werden, was (6430 — 2852,7 — 142,63) = 3434,67 gr für das absolute Trockengewicht und von (6430 — 142,63) = 6287,4 gr für das Frischgewicht des betreffenden Stammstückes ergeben hätte. Das entspricht einem Wassergehalt von 45,4 %, einer Zahl, die sich sehr gut dem von R. Hartig für den Wassergehalt normaler Fichten gefundenen

1) Vergl. Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, II, p. 12, 13. Die Rechnung ergab etwas höhere Werthe, welche schliesslich bis auf 11 % reducirt wurden, um keinenfalls zu hoch gegriffen zu werden.

zur Seite stellen lässt [1]). Das 13 m hoch, dem Stamme entnommene, 9 cm lange, entrindete und nach der Entrindung 4,1 cm dicke Holzstück, das vom 15. November bis zum 3. December von 134,5 gr auf 78,5 gr zurückging, wog am 3. Juni des folgenden Jahres 79 gr, hatte somit schon nach mehrwöchentlichem Aufenthalt in einem sehr trocknen, durch einen Meidinger Ofen geheizten Zimmer das Lufttrockengewicht erreicht. Nach derselben Berechnung mit 11 % Zuschlag hatte dieses Stammstück 47,3 % Wasserverlust erlitten, sein Wassergehalt war somit grösser als derjenige des unteren Stammstückes gewesen, was den Erfahrungen an normalen Fichten entspricht, bei welchen der Wassergehalt des Holzkörpers nach oben zunimmt [2]). Da meine Untersuchung sich auf nur einen Fall bezieht, so würde ich derselben kein Gewicht beilegen, wenn sie nicht ein so durchaus positives Resultat ergeben hätte.

Eine 42-jährige Schwarzkiefer (Pinus Laricio), die zu einer Gruppe mit 5 anderen Bäumen derselben Art vereinigt stand und daher etwas einseitig entwickelt war, diente zu einem weiteren Versuche. Sie erreichte 14,42 m Höhe, bei einer Dicke von 28 cm an der Basis. Am 19. September wurde sie in 5 % Kupfersulfatlösung gesetzt und verweilte in derselben den ganzen Winter über bis zum 17. März. Während dieser Zeit hatte sie mehrere längere Frostperioden durchzumachen und zeigte sich alsdann, so wie die Flüssigkeit in dem Kübel, hart gefroren. Diese Schwarzkiefer nahm am ersten Tage 31 Liter, bis zum 26. September im Ganzen 100,5 Liter, bis zum 1. October im Ganzen 134 Liter Flüssigkeit auf. Bis zum 17. März des nächsten Jahres stieg die Gesammtmenge auf 158 Liter. Dabei werden freilich einige Verluste abzu-

---

1) Die Tabelle 31, p. 94 l. c., giebt für eine 80-jährige Fichte in 1,5 m Höhe bis 36 cm Durchmesser, am 12. October, für den gesammten Holzkörper 46,9 % Wasser an, für ein unserem Stammstück im Durchmesser entsprechendes, doch einer bedeutenderen Höhe (13,9 m) entnommenes Stammstück, für den gesammten Holzkörper 53,2 %. Da die Rinde von unserem Stammstück nicht entfernt worden war, dieselbe etwas wasserreicher als der Gesammtholzkörper (nicht der Splint für sich) zu sein pflegt, so bringt das einen kleinen Fehler in unsere Rechnung, der jedoch bei der sehr schwachen Rinde dieser Stammstücke kaum nennenswerth ist.

2) Vergl. R. Hartig, l. c. p. 29, und die Tabelle p. 94.

rechnen sein, veranlasst durch Aufnahme von Flüssigkeit in die Wände des Holzkübels und durch Verdunstung von der Oberfläche der Flüssigkeit, welche Verluste übrigens nicht bedeutend sein konnten, da namentlich die freie Verdunstung von der Flüssigkeitsoberfläche durch dem Kübel aufgekittete, in die Rinde des Stammes einschneidende Glasscheiben herabgesetzt wurde. Während des Winters sog der Baum nur noch wenig. Erst nach Neujahr färbten sich die Nadeln gelb, geworfen wurden sie überhaupt nicht. Vom 20. Januar an hielten starke Kahlfröste etwa 6 Wochen lang an. — Der Baum zeigte sich vollkommen imprägnirt bis zum Gipfel und zwar überall bis auf das Mark. Eine schwache Abnahme der Intensität der Reaction, somit des Kupfersalzgehaltes, war gipfelwärts festzustellen. Die Harzgänge traten auch hier überall mit lebhaft grüner Färbung hervor. — Am 17. März wurden, gleich nach Umlegen des Baumes, demselben mehrere Querscheiben in verschiedener Höhe entnommen; das erste Stück 1 m über der unteren Querschnittsfläche: es war 17 cm hoch, sammt Rinde 25 cm dick, ohne Rinde 22 cm, und wog 7130 gr. Das zweite Stück, in 10 m Höhe entnommen, 23 cm hoch, sammt Rinde 11 cm dick, ohne Rinde 10,4 cm; es wog 2060 gr. Ein drittes Stück von einem der beiden Gabeläste in 12,25 m Höhe, 17 cm hoch, 3,2 cm dick, ohne Rinde 2,6 cm, wog 150 gr. Am 17. Mai wog I 4627, II 1320, III 77 gr. Am 3. Juni I 4145, II 1168, III 72 gr. Am 1. October I 3520, II 910, III 68 gr. Das giebt, bei Berücksichtigung der 11 %, eventuellen Mehrverlust an Wasser im Trockenschrank und Durchführung der Berechnung entsprechend wie zuvor bei der Fichte, für I einen Wassergehalt von 57,8 %, für II von 63,8 %, für III von 69 %. Diese Zahlen sind wesentlich höher als die für die Fichte gewonnenen, was sich unschwer aus dem Umstande erklärt, dass die Durchtränkung mit Kupfersulfatlösung bei dieser Kiefer fast bis zum Marke, somit wesentlich tiefer als bei der Fichte reichte. Diese starke Imprägnirung, auch der bei der Wasserleitung nicht mehr bethätigten Bahnen, erklärt zugleich auch, dass der Wassergehalt hier höher als in normalen Kiefern gefunden wurde, für welche R. Hartig im October Werthe von 47,6 % bis 58,7 % Wassergehalt in aufsteigender Richtung angiebt.

Es lässt sich somit wohl auf Grund meiner an der Fichte und Kiefer gewonnenen Ergebnisse bereits behaupten, dass der

todte Baum so viel Flüssigkeit aufzunehmen und zu halten vermag, wie es der lebendige thut. Dieses ist für die Schwarzkiefer vornehmlich ersichtlich, die viele Monate lang todt in der Kupfersulfatlösung stand und trotzdem einen Wassergehalt aufwies, der selbst denjenigen normaler Bäume überstieg.

Wenn somit absterbende Zweige, Aeste oder ganze Bäume von oben nach unten langsam austrocknen, so ist es nur, weil mit dem Absterben Veränderungen in ihrem Holzkörper verbunden sind, die eine weitere Zuleitung von Wasser unmöglich machen; für ganze Bäume kommt noch hinzu, dass auch die trachealen Bahnen der absterbenden Wurzeln leitungsunfähig werden und somit Wasser aus dem Boden schliesslich nicht mehr nachliefern können.

Wenn aber bis 20 m hohe Bäume, wie die zu unseren Versuchen benutzten, ohne Zuthun der Wurzelkraft eine so giftige Substanz wie 5—10% Kupfersulfatlösung wochenlang aufnehmen und sie durch ihre, jedenfalls schon in den ersten Tagen getödteten Stammtheile aufwärts befördern können, so ist es klar, dass mit der Wasserhebung an sich die lebendigen Elemente des Holzkörpers nichts zu thun haben können, dass es sich vielmehr bei dieser Hebung um einen rein physikalischen Vorgang handelt. Dass andererseits Luftdruck und Capillarität auch zusammengenommen nicht ausreichen, um 20 m hoch, so wie das in der Rothbuche geschah, eine Flüssigkeit zu heben, darf nach den bisherigen Erfahrungen der Physik angenommen werden.

Die lebendigen Elemente greifen somit nicht in die Vorgänge der Wasserhebung innerhalb der Pflanze ein, sie können aber bei gefüllten Wasserbahnen durch weiteres Hineinpressen von Flüssigkeit in dieselben Blutungsdruck erzeugen, worauf wir später zurückkommen wollen.

Verdünnte Lösungen von Kupfersulfat hatte schon Boucherie zu technischen Zwecken von Bäumen aufnehmen lassen und den Transpirationsstrom der letzteren zu diesem Zwecke verwerthet. So gelang es ihm, bereits hohe Bäume mit Kupfersulfat zu durchtränken, und hätte dieser sein Erfolg die Aufstellung einer vitalistischen Wassersteigtheorie in der Pflanze bereits verhindern sollen. Diese Boucherie'schen Versuche blieben freilich auf botanischem Gebiete fast unbeachtet, was sich daraus erklärt, dass sie eben nicht mit Rücksicht auf Fragen des Wasser-

aufstiegs in der Pflanze angestellt worden waren[1]). Andererseits existiren aber auch einige Angaben von Th. Hartig, die oft citirt wurden, ohne zu entsprechenden Schlussfolgerungen zu veranlassen und zu weiteren, ähnlichen Versuchen anzuregen. Th. Hartig giebt an[2]), dass eine Lösung von holzsaurem Eisen, die zur Zeit des Saftsteigens in sternförmig communicirende Bohrlöcher an der Basis verschiedener Bäume gegossen wurde, rasch und geradlinig aufstieg und sich im Innern des Stammes in Gestalt eines schwarzen Sternes bis über 40 Fuss Höhe verfolgen liess. „Hier", schreibt Th. Hartig, „war es nun augenscheinlich keine der lebenden Zelle zustehende Kraft, die das Aufsteigen der Flüssigkeit bewirkte, denn die als Gift auf die Pflanzenzelle wirkende Lösung musste diese augenblicklich tödten. Es liesse sich daraus wohl eine erste, aber keine fortdauernde Aufnahme und Fortleitung erklären, wie sie in der

---

1) Besondere Beachtung hätten unter Anderem die Angaben von J. A. Schultz verdient. Derselbe giebt an, dass im Monat September eine Pappel von 28 m Höhe und 40 cm Durchmesser 20 cm tief in holzessigsaure Eisenflüssigkeit von 8⁰ Beaumé gesetzt worden wäre. Schon nach 6 Tagen war die ganze Pappel bis in die Blätter vollkommen von dieser Flüssigkeit durchdrungen. Der Baum nahm während dieser Zeit ungefähr 3 hl Flüssigkeit auf. Ein ähnliches Resultat lieferte eine Fichte von 21 m Höhe und 52 cm Durchmesser, dieselbe absorbirte gleichfalls in ungefähr 6 Tagen 2,8 hl von derselben Flüssigkeit. Vergl. „Neues, wohlfeiles und bewährtes Verfahren, das Holz zu conserviren, dasselbe auch gegen Fäulniss, Schwamm und Wurmstich zu schützen etc. nebst einer practischen Anleitung zur Holzessigfabrication von J. A. Schultz, Civil-Ingenieur und Chemiker in Dresden, Weimar 1844", p. 32. Diese Publication, die ich erst neuerdings ausfindig machte, war in dem Verlage von Bernhard Friedrich Voigt in Weimar nicht mehr vorhanden, doch gelang es mir, dieselbe aus der Universitätsbibliothek in Jena zu erlangen, an welche seinerzeit ein Pflichtexemplar abgeliefert worden war. — Auf p. 36 seiner Publication giebt Schultz auch an, die Erfahrung habe für alle behandelten Bäume gelehrt, dass dieselben bei 30 cm Durchmesser im unteren Theile des Stammes in 7 Tagen $2^1/_2$ hl Salzcalium-Auflösung von 15⁰ Beaumé, oder in derselben Zeit 2 hl holzessigsaures Eisen von 8⁰ Beaumé aufnehmen, während Bäume von 40 cm Durchmesser und etwas darüber in 7 Tagen 3 hl holzessigsaures Eisen von 8⁰ Beaumé benöthigen.

2) Ueber die endosmotischen Eigenschaften der Pflanzenhäute, Bot. Ztg. 1853, Sp. 313.

That mehrere Tage hindurch stattfand." Th. Hartig glaubte zunächst, weil die Bäume zur Zeit des lebhaften Saftsteigens im unbelaubten Zustande sich befinden und nur wenig verdunsten, die „hebende Kraft" im Wurzelsystem suchen zu müssen. Später kam er davon ab, da seine Versuche ergaben, dass auch in abgeschnittenen Stangenhölzern das holzsaure Eisen bis in den Gipfel steigt [1]). Zu einer abgeschlossenen Ansicht über die Ursachen des Saftsteigens gelangte Th. Hartig überhaupt nicht, wie das aus seiner letzten Publication hervorgeht, in der es heisst [2]): „Wir gelangen hiermit zu dem Schlusse, dass eine Erklärung der Bewegung des Wandersaftes aus Kräften der todten Körperwelt bis jetzt nicht gelungen ist, dass auch hier eine Mitwirkung vitaler Kraft mehr als wahrscheinlich ist, wodurch wir uns jedoch nicht abhalten lassen dürfen, mit allen Mitteln und Kräften nach bewegenden Kräften der physikalischen und chemischen Wissenschaft zu forschen."

Bezeichnung der Leitungswege durch Niederschläge.

Dass die in Pflanzen aufsteigenden Farbstoff- und Salzlösungen die trachealen Bahnen einschlagen und sich von diesen aus erst auf die Umgebung ausbreiten, folgt wohl hinlänglich aus den vorausgegangenen Angaben. Andererseits hatten vor Zeiten schon Rominger mit Hilfe von Niederschlägen und neuerdings Elfving, Vesque und Errera durch Verstopfung der Wasserbahnen nachzuweisen gesucht, dass der Transpirationsstrom nicht in den Zellwänden, sondern in den Hohlräumen des trachealen Systems sich bewege. Dass Letzteres in der That der Fall ist, dafür brachten mir meine, an hohen Bäumen mit Kupfersulfat ausgeführten Versuche vorwurfsfreie Belege. An diesen Bäumen war es mir nämlich möglich, in Höhen weit über 10 m, die mehr oder weniger vollständige Ausfüllung der trachealen Bahnen mit Kupfersulfat durch Niederschläge mit gelbem Blutlaugensalz nachzuweisen. Der Nachweis gelingt sowohl in den noch mit flüssigem Inhalt erfüllten Bahnen, als auch später an den trocken gewordenen Holzstücken. In den

1) Aufsaugung von Farbstoffen durch Wundflächen, Bot. Ztg., 1861, p. 22.

2) Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen, 1878, p. 346.

mit noch flüssigem Inhalt erfüllten Bahnen kann der Nachweis in erfolgreicher Weise nur an Längsschnitten, die grössere Strecken unversehrter Bahnen einschliessen, geführt werden. Die Bildung des Niederschlags verfolgte ich entweder direct unter dem Mikroskop, oder ich tauchte die Längsschnitte erst in gelbe Blutlaugensalzlösung, um sie hierauf zu untersuchen. Auch legte ich oftmals dickere, ausgedehntere Längsschnitte in gelbe Blutlaugensalzlösung ein, liess sie hierauf trocken werden und fertigte hierauf erst aus denselben die dünnen Schnitte für die mikroskopische Untersuchung an. Aus solchen nach Bildung des Niederschlags getrockneten, dickeren Längsschnitten liessen sich dann auch instructive Querschnitte darstellen.

So zeigte ein dem 17,5 m hohen Ahorn, der in 15 % Kupfersulfatlösung gestanden hatte, in 15 m Höhe entnommenes Holzstück an stark tingirten Stellen, nach Blutlaugensalzbehandlung, die Gefässe mit reichlichen Mengen von Niederschlag erfüllt. Derselbe füllte auch die wenig zahlreichen, engen Tracheïden, welche im Spätholze vertreten sind. An schwach tingirten Stellen war der Niederschlag vorwiegend auf die Tüpfelhöfe beschränkt; in den Holzfasern fehlte er vollständig.

Ein Holzstück, das der 20 m hohen, mit 10 % Kupfersulfat durchtränkten Rothbuche in 16 m Höhe entnommen worden war, zeigte nach Blutlaugensalzbehandlung den Niederschlag in den Gefässen und alle etwas weiteren Tracheïden. Letztere führten den Niederschlag ganz allgemein, während er einem Theile der Gefässe abging. Vielfach sah man ihn besonders stark in den Enden der Tracheïden und an den Scheidewänden der Gefässe angesammelt. Stellenweise glaubte man rothbraune Scheidewände in Tracheïden und Gefässen zu erblicken. Solche Scheidewände gingen aber, wie direct festgestellt wurde, aus Niederschlägen hervor, die sich um Luftblasen gebildet hatten. Man sah solche Luftblasen dann kleiner werden und schwinden, die Niederschlagsmembran aber zu einer queren Scheidewand zusammensinken.

Der 14 m hohen Fichte, die in 5 % Kupfersulfat gestanden hatte, 2 m unterhalb des Gipfels entnommene Holzstücke zeigten die Tracheïden der äusseren Jahresringe mit Flüssigkeit erfüllt, fast ohne alle Luftblasen. Nach Zusatz von Ferrocyankalium bildete sich in den Tracheïden der rothbraune Niederschlag. Am intensivsten färbten sich die Markstrahlen. Sehr instructiv

wurden die Präparate aus dieser Fichte, wenn man sie eintrocknen liess und dann wieder befeuchtet untersuchte. In den inhaltsärmeren Tracheïden erschien der Niederschlag auf die Hofräume der Tüpfel beschränkt. Die Scheidewände aus rothbraunem Niederschlag, deren wir bereits bei der Rothbuche erwähnten, fanden sich vielfach und zwar besonders in den weitlumigen Frühholztracheïden vor.

Diesen Beobachtungen an hohen Bäumen waren Versuche mit Aesten und Zweigen vorausgegangen, und zwar mit gleichem Ergebniss. Diese Versuche gewannen eine Bedeutung erst, nachdem sie durch die Erfolge an den hohen Bäumen gedeckt waren. Ich suchte innerhalb der trachealen Bahnen Turnbull's Blau-Niederschläge zu erzielen, indem ich die betreffenden Pflanzentheile erst in ziemlich concentrirte rothe Blutlaugensalzlösung stellte, sie hierauf in Stücke schnitt und diese Eisenvitriollösung aufnehmen liess. Da der Niederschlag sehr bald die Gefässbahnen verstopft, so kann er nicht hoch hinaufreichen; denn mit der Verstopfung der Bahn hört jede weitere Aufnahme der Eisensalzlösung auf. Diesem Uebelstande sollte eben dadurch abgeholfen werden, dass die mit Ferricyankalium bereits erfüllten Pflanzentheile stückweise in die Eisensalzlösung gesetzt wurden. Auf diese Weise konnte ich in allen Höhen Niederschläge innerhalb der trachealen Bahnen erhalten, wobei Aeste von über 5 m Länge wiederholt zur Verwendung kamen. Die Untersuchung liess sich am besten an Schnitten ausführen, die den zuvor getrockneten Objecten entnommen wurden. Da fiel die Gefahr hinweg, den Niederschlag mit dem Messer über andere Stellen der Schnittfläche zu verschleppen. Die Schnitte selbst kamen meist in Glycerin zur Beobachtung. — Aus den offenen Enden weiterer Gefässe der mit Blutlaugensalzlösung vollgesogenen Pflanzentheile quollen nach Uebertragung derselben in Eisenvitriollösung Turnbull's Blau-Niederschläge in Gestalt wurmförmig gestreckter Traube'scher Zellen hervor.

In den weitesten Gefässen der Aststücke von Wistaria konnten Niederschläge bis 50 cm hoch verfolgt werden. Einzelne Stücke waren dem oberen Theile eines 7 m langen Stammes entnommen, der zwei Tage in Ferricyankaliumlösung zugebracht hatte. — Bei Acacia floribunda reichte der Niederschlag in einzelnen Gefässen bis 40 cm weit hinauf. Robinia zeigte die engen Gefässe schon dicht über der Querschnittsfläche mit

Turnbull's Blau verstopft, in vereinzelten weiteren Gefässen reichte der Niederschlag etwas höher hinauf. — Bei Rosa konnte die Ausfüllung der Gefässe mit Turnbull's Blau etwa 10 cm hoch verfolgt werden. Einzelne Gefässe von Phragmites zeigten sich 50 cm hoch mit Niederschlag erfüllt. Wo in allen diesen Pflanzentheilen die Querschnitte noch anderweitige Gewebe gefärbt vorführten, liess sich annehmen, dass diese die Salzlösung von den tracheïdalen Bahnen aus erhalten hatten. — Ein starker Ast von Taxus baccata, der zwei Tage lang in Ferricyankalium gestanden hatte, zeigte, stückweise in Eisenvitriollösung gesetzt, Niederschläge in den Tracheïden bis zu 20 cm Höhe. Es gelang hier, die Niederschläge von Turnbull's Blau selbst in den feinsten Seitenzweigen zu erhalten. In stärkeren Asttheilen war eine deutliche Bevorzugung des Frühholzes an der Reichhaltigkeit des Niederschlages sicherzustellen. Auf feinen Querschnitten erschienen die Tracheïdenwände bis auf die tertiäre Verdickungsschicht ungefärbt. Letztere sah hingegen tingirt aus. Nur selten war in solchen Präparaten ein Tracheïdenlumen mit Niederschlag ganz erfüllt. In einiger Entfernung von den aufnehmenden Querschnittsflächen geführte tangentiale Längsschnitte zeigten die Lumina der Tracheïden leer, hingegen Niederschlag in den Tüpfelhöfen. Gefärbt waren überall die Markstrahlzellen, sowie die nach denselben führenden Tüpfelräume. — Versuche mit Pinuszweigen führten zu ganz ähnlichen Ergebnissen. — Ephedra wurde schliesslich auch noch in Untersuchung gezogen, mit Rücksicht auf die bei derselben zu den Tracheïden sich gesellenden Gefässe. Starke Aeste von Ephedra altissima dienten zu dem Versuch. Der Niederschlag reichte in manchen Zweigstücken bis 40 cm weit hinauf; die Gefässe zeigten ebenso viel Niederschlag wie die Tracheïden, ja oft noch mehr als diese. Man fand an vielen Stellen der Präparate die einen wie die andern ganz mit Turnbull's Blau verstopft; oder der Niederschlag bildete in ihnen nur einen mehr oder weniger starken Wandbeleg.

Aufnahmefähigkeit der trachealen Bahnen für verschiedene Flüssigkeiten.

Wir stellten bereits fest, dass giftig wirkende Flüssigkeiten durch diese ihre Eigenschaft nicht behindert werden, beliebig hoch

in den Leitungsbahnen der Pflanzen aufzusteigen. Jede Flüssigkeit ist in der That hierzu befähigt, sobald sie die Wände der trachealen Bahnen benetzen, dieselben imbibiren, somit auch die Schliesshäute der Tüpfel passiren kann, und soweit sie die Wände dieser Bahnen nicht zerstört, die Schliesshäute der Tüpfel nicht unwegsam macht, die Bahn nicht durch Bildung von Niederschlägen verstopft, endlich auch nicht in Folge chemischer Eingriffe Gasentwicklung veranlasst und durch Gasblasen den Leitungsstrom unterbricht.

Bei Berücksichtigung aller dieser Momente lässt sich die verschiedene Aufnahmefähigkeit der pflanzlichen Leitungsbahnen für verschiedene Flüssigkeiten leicht begreifen und meist auch zutreffend deuten.

Dass zahlreiche Pflanzen den Alcohol, alle das Kupfersulfat mit ihren geöffneten trachealen Bahnen gut aufnehmen, braucht, nach den Erfahrungen an hohen Bäumen, kaum erst hervorgehoben zu werden. Aus zahlreichen diesbezüglichen Versuchen greife ich daher nur solche Daten heraus, die geeignet sind, das schon Mitgetheilte zu ergänzen.

Der Alcohol stieg im Allgemeinen langsamer in den Pflanzen als das Wasser auf. In Bryoniasprossen, die in Wasser abgeschnitten, eine Stunde lang in Wasser gestanden und dann in Eosin-Alcohol übergeführt wurden, ergab sich eine Steiggeschwindigkeit bis zu 3,50 m in der Stunde, gelegentlich aber auch weit weniger. Bei Cucurbita wurden unter ganz entsprechenden Bedingungen ca. 3 m pro Stunde erzielt. In den unteren Theilen des Stengels stieg der Alcohol schneller und besser als später, wenn eine bestimmte Höhe erreicht war. Immerhin gelang es mir in einzelnen Fällen, selbst 6 m lange Sprosse bis oben zu färben. Entsprechend früheren Erfahrungen griff die Färbung mit Eosin-Alcohol rasch auf die umgebenden Gewebe, zunächst den Siebtheil des Gefässbündels über. Bei länger andauernden Versuchen konnte das ganze Stengelgewebe mit Einschluss der Epidermis durchfärbt werden. Die Stengeltheile von Bryonia und Cucurbita schrumpften bei der Alcohol-Aufnahme bedeutend zusammen und erhielten dadurch stark vorspringende Rippen. Es wurde dem umgebenden Gewebe, von den Leitungsbahnen, auf osmotischem Wege viel Wasser entzogen. Die starken osmotischen Strömungen mussten auch Störungen im Aufstieg veranlassen, diese Störungen sich

aber mit wachsender Entfernung von dem dargebotenen Alcohol durch Summirung steigern.

Um die Schnelligkeit des Eosin-Alcohol-Aufstiegs bei Robinia Pseudacacia genau zu bestimmen, wurde am 11. Juni, bei 19 ° C im Schatten, ein 5 m hoher, an der Basis 3 cm dicker Baum, stark belaubt, nach üblicher Vorbereitung um 11 Uhr Vormittags in Eosin-Alcohol gestellt. Seine Belaubung begann in 3 m Höhe. Um 3 Uhr Nachmittags erreichte der Eosin-Alcohol die obersten Blätter. Wie bei früheren Robinien wurde auch bei dieser mit dem Eosin-Alcohol ziemlich reine Gefässfärbung erzielt. — Ein 5 m langer Ast von Robinia Pseudacacia, der zuvor 7 Stunden (von 7 Uhr früh bis 2 Uhr Nachmittags) in Wasser gestanden hatte, leitete den Eosin-Alcohol in 4 Stunden (bis 6 Uhr Nachmittags) ebenfalls 3 m hoch hinauf.

Von zwei gleich starken, 6 m langen Aesculus-Aesten, von welchen der eine in wässrige, der andere in alcoholische Eosinlösung gestellt wurden, zeigte sich nach zwei Tagen, wo die Untersuchung vorgenommen wurde, der erste bis zum Gipfel, der zweite bis zu 4,5 m Höhe gefärbt. Auch war die wässrige Eosinlösung den Leitungsbahnen in normaler Weise gefolgt, während die Färbung mit Eosin-Alcohol unregelmässig vor sich ging und in den äusseren Jahresringen sogar früher als in den inneren aussetzte.

In einem 2,5 m langen, von 1 m Höhe an belaubten Aste von Acer platanoides erreichte der Eosin-Alcohol nach 5 Stunden den Gipfel. Die Blattstiele zeigten bereits sämmtlich die Färbung, wobei die Blattflächen aber noch frisch erschienen. Mit dem Augenblick, wo der Alcohol einen Blattstiel erreicht hatte, floss bei Durchschneidung desselben der weisse Milchsaft nicht mehr aus, so dass man schon an diesem Merkmale das Vordringen des Alcohols verfolgen konnte. Ein anderer, 7 m langer Ast, um 10 Uhr Morgens in Eosin - Alcohol gesetzt, zeigte den Farbstoff in den obersten Blättern erst am nächsten Tage, um 3 Uhr Nachmittags, an. Der Ast nahm bis dahin 2 Liter Alcohol auf. — Von zwei gleich starken, 5 m langen, 3 cm dicken, von 2,5 m an verzweigten Aesten, von welchen am 18. September der eine in Eosin - Wasser, der andere in Alcohol - Eosin gestellt wurde, nahm der eine in 43 Stunden 331, der andere 420 ccm Flüssigkeit auf. Das Wetter war regnerisch, die Temperatur schwankte um 15 ° C. In der

wässrigen Eosinlösung hatte nach 43 Stunden der Farbstoff eben die obersten Blätter erreicht. In der alcoholischen Lösung war er nicht über 3 m Höhe nachzuweisen. In dem Aste, der in Eosin-Wasser gestanden, reichte die Färbung des Holzkörpers bis oben und alle Jahresringe bis auf die innersten, in welchem die Gefässe mit Schutzgummi verstopft waren, zeigten sich tingirt. In dem Aste, der Eosin-Alcohol aufgenommen, erschien die Färbung annähernd normal, nur diffuser und intensiver als in dem anderen Aste, bis zu 3 m Höhe hinauf; dann abnorm, die äusseren Jahresringe von der Färbung ausgeschlossen; schliesslich die Färbung nur einseitig und so bis zu 4,5 m Höhe.

Zwei je 5 m hohe, reich belaubte Aeste von Tilia europaea an einem heissen Julitage um 10 Uhr Morgens in Eosin-Alcohol-Lösung gestellt, hoben den Farbstoff in 8 Stunden bis zu den obersten Blättern. — Von zwei 3 m hohen, 2,5 cm, beziehungsweise 2 cm, dicken Aesten von Tilia europaea, von denen der erste in Eosin-Wasser, der zweite in Alcohol-Eosin zu stehen kamen, verbrauchte der erste in 48 Stunden 220, der andere 200 ccm Flüssigkeit. Das Wetter war regnerisch, die Temperatur schwankte um 16 ° C. Der Versuch begann am 17. September. In beiden Aesten erreichte nach zwei Tagen der Farbstoff den Gipfel, doch zeigte die alcoholische Eosinfärbung von 2,5 m Höhe an Unregelmässigkeiten, sie war vorwiegend auf nur eine Seite des Holzkörpers beschränkt, hatte dort andererseits grosse Intensität erreicht.

In dem einen 10,5 m langen Hedera-Stamm, der uns schon einmal beschäftigte, hatte der Eosin-Alcohol, bei klarem, warmem Wetter in 24 Stunden 5,2 m Höhe erreicht. Die Schnelligkeit des Aufstiegs wurde an der Färbung der Gefässbündel in den Blattstielen des Kurztriebes, die dem Hauptstamm entspringen, controlirt. Weiterhin stieg der Farbstoff langsamer, befand sich nach abermals 24 Stunden in nicht ganz 8 m Höhe, um erst nach Ablauf von 3 Tagen fast am Gipfel anzulangen.

In einem 9,5 m langen, an der Basis 1,2 cm dicken, dort 7 Jahre alten Aste von Aristolochia tomentosa stieg der Eosin-Alcohol in 3 Tagen um 6,5 m. Bis zur Höhe von 5 m war das ganze Stammgewebe bis zum äusseren Sklerenchymring gefärbt. Weiter hinauf schränkte sich die Färbung allmählich auf die Peripherie des Holzkörpers, und dort weiter auf einzelne Gefässe des äussersten Jahresringes ein. In zwei Seiten-

zweige, die in 5,5 m Höhe entsprangen, drang der Farbstoff nur wenig vor. In einem anderen Seitenzweig bei 6,5 m Höhe war er überhaupt nicht mehr nachzuweisen. Alle Blätter an diesem Aste erschienen noch turgescent.

Ein kräftiges Exemplar von Zea Mays, in Eosin-Alcohol gestellt, zeigte die nämlichen Bahnen wie bei Eosin-Wasser an, nur dass im ganzen Stengel auch die Siebtheile der Gefässbündel Farbstoff aufgenommen hatten, und dass ausserdem der Eosin-Alcohol sich alsbald, von den Gefässtheilen der Gefässbündel aus, über das ganze Grundgewebe verbreitete.

Aehnlich waren die Resultate der Färbung auch bei Arundo Donax.

Auch bei der Fichte färbte der Eosin-Alcohol alle Gewebe vom Marke bis zu den äusseren Korklagen. Das Spätholz nahm entschieden weniger Farbstoff als die übrigen Elemente der Jahresringe auf.

Werden Pflanzen von Impatiens parviflora mit der Wurzel aus dem Boden gehoben, dann unter Wasser am Grunde des Stengels durchschnitten und in ziemlich dunkle, wässrige Eosinlösung gesetzt, so sieht man bei der grossen Durchsichtigkeit dieser Pflanze den Farbstoff direct in ihren Gefässbündeln aufsteigen. Auch wenn die Pflanze zuvor eine halbe Stunde lang in Wasser gestanden, ist der Aufstieg des Farbstoffes so rasch, dass man ihn unmittelbar verfolgen kann. Nach wenigen Minuten hat der Farbstoff die unteren Blätter der Pflanze erreicht, und bald darauf beginnen sich deren Nerven zu färben. Es dauert denn auch nicht lange, so ist die ganze Pflanze durchfärbt und beginnt meist schon nach wenigen Stunden, nachdem die Intensität der Färbung innerhalb der Leitungsbahnen stark zugenommen, zu welken. Anders die Pflanzen, die, nachdem sie eine halbe Stunde lang in Wasser zugebracht, in alcoholische Eosinlösung eingesetzt werden. Die Lösung steigt weit langsamer in den Gefässbündeln auf, die Bewegung ist bald nicht mehr direct zu verfolgen, und es dauert verhältnissmässig lange, bis dass die Blattnerven erreicht sind. Das hat andererseits zur Folge, dass die Blätter sehr lange turgescent bleiben und ein normales Aussehen behalten, während diejenigen der in Eosin-Wasser gestellten Pflanzen schon längst welk abwärtshängen. Währenddem verbreitet sich aber in den unteren Theilen des Stengels, von den Gefässbündeln aus, der Eosin-

Alcohol über das umgebende Gewebe und durchfärbt allmählich den ganzen Stengel. Die getödteten Zellen büssen ihren Turgor ein, und vielfach knickt der Stengel in seinem unteren Theile zusammen. Das pflegt zu Sommeranfang bei jungen, saftreichen Stengeln viel früher und sicherer zu erfolgen, als bei älteren Pflanzen im Herbst. Der starke Diffusionsstrom, der sich zwischen dem Inhalt der Gefässe und dem umgebenden Parenchym einstellen muss und zu einer starken Wasserentziehung aus diesen nothgedrungen führt, mag andererseits bedingen, dass lange Zeit hindurch nur sehr diluirter Alcohol zu den oberen Stengeltheilen gelangt und von denselben daher auch relativ gut vertragen wird. Dieser diluirte Alcohol mag zugleich in den Blättern sofort Reizerscheinungen auslösen, welche die Transpiration herabsetzen. So macht es in sehr saftreichen Pflanzen, zu Sommeranfang, oft fast den Eindruck, als ob das Aufsteigen des Farbstoffes in den oberen Stengeltheilen überhaupt sistirt wäre. Da der Farbstoff in stark diluirter Lösung in die oberen Stengeltheile und die Blattnerven gelangt, so kommt es auch, dass er dort weit länger als in den unteren Stengeltheilen auf die Gefässtheile beschränkt bleibt.

Dass die Kupfervitriollösung in den Wasserbahnen der Pflanzen vorzüglich aufwärtsgeleitet werde, haben wir an zahlreichen Objecten schon geschehen. Nur wenn sehr concentrirt, mag sie stark wasserentziehend wirken und sodann, ähnlich wie der Alcohol, in ihrem Aufstieg aufgehalten werden. Bei Wistarien hatten wir bereits, bei Darreichung 5 % Kupfersulfatlösung, eine Steighöhe von 12 m in 16 Stunden constatirt. Noch höhere Werthe würden sich jedenfalls erzielen lassen.

Bei einem 6,5 m hohen, an der Basis 5 cm dicken, 9 Jahresringe zählenden Baume der Robinia Pseudacacia, Ende August, erreichte die 5 % Kupfersulfatlösung in ca. 8 Stunden den Gipfel. Nach 18 Stunden, da die Blätter welk, zum Theil bereits trocken und brüchig geworden waren, kam der Baum zur Untersuchung. In den unteren Theilen des Schaftes zeigten sich drei Jahresringe stark, der vierte von aussen schwach imprägnirt. Die so imprägnirte und blassgrün gefärbte Zone mass ca. 0,5 cm. Der äusserste Jahresring hatte das meiste Kupfersulfat aufgenommen; die beiden folgenden mehr im Spätholz als im Frühholz. Die Färbung erstreckte sich über die Wände sämmtlicher Elemente, doch waren die den trachealen Bahnen

näheren in der Imprägnirung bevorzugt. Das Kupfersulfat hatte sich somit von den Leitungsbahnen aus auf die umgebenden Elemente verbreitet. Im zweiten Jahresringe, wo die grossen Gefässe bereits mit Thyllen verstopft waren, zeigte sich das Spätholz besser imprägnirt, der engen Gefässstränge wegen, welche, wie wir wissen, leitungsfähig bleiben. In 2,5 m Höhe schränkte sich die blaue Färbung bereits auf den äussersten Jahresring und das Spätholz des vorhergehenden ein, und so im Wesentlichen dann auch weiter bis zum Gipfel, ungeachtet in den oberen Stammtheilen auch die meisten weiteren Gefässe des zweiten Jahresringes offen waren. Der Baum hatte 200 ccm Lösung aufgenommen.

Ein 6 m langer, 4,5 cm an der Basis dicker, 25-jähriger Ast von Acer platanoides imprägnirte sich Ende August mit 5% Kupfersulfatlösung, nachdem er zuvor 24 Stunden in Wasser gestanden, in $29^1/_2$ Stunden bis zum Gipfel. Auch hier, wie bei Robinia, war an zarten Schnitten zu constatiren, dass trotz der für das blosse Auge scheinbar gleichmässigen Färbung des Holzkörpers mit Kupfersulfat die Imprägnirung um die Gefässe am stärksten war, und mit der Entfernung von diesen in den Holzfasern abnahm. Ebenso sank die Stärke der Imprägnirung nach dem Gipfel zu, wenn auch die rothbraune Reaction mit Ferrocyankalium bis zuletzt sehr prägnant blieb. Der Ast nahm 1,25 Liter Flüssigkeit auf.

Ein 6 m langer, 5 cm dicker, 22 Jahre alter Ast von Aesculus Hippocastanum, der zunächst 24 Stunden in Wasser stand, imprägnirte sich Ende August in 31 Stunden mit Kupfersulfat bis zum Gipfel. Imprägnirt waren in ausgezeichneter Weise die Wände aller Elemente bis auf das Mark. Die Intensität der Imprägnirung sank etwas nach dem Gipfel, blieb aber bis zuletzt erheblich. In den obersten Zweigen setzten die dem Marke nächsten Jahresringe in der Färbung etwas aus. Der Ast nahm 1,9 Liter Flüssigkeit auf.

Mehrere im Juli, um 10 Uhr Vormittags, in 5% Kupfersulfatlösung eingesetzte, 2 bis 3 m lange Weidenäste zeigten sich am Nachmittag desselben Tages vollständig durchfärbt. Die Blätter erschienen bereits welk, zugleich dunkel und fahl, so auch alle Theile der grünen Rinde.

Ein über 3 m langer, 1,8 cm dicker, 7-jähriger Eichenast, der Ende August zunächst 24 Stunden in Wasser gestanden

hatte, nahm in 56 Stunden 250 ccm 5 % Kupfersulfatlösung auf Er zeigte sich bis zum Gipfel imprägnirt; die Blätter waren welk geworden. Alle Elemente des Holzkörpers in diesem noch kernlosen Aste hatten Kupfersulfat aufgenommen, mit abnehmender Intensität gegen den Gipfel.

Ein 6 m langer, 4 cm dicker, 15-jähriger Lindenast, der Ende August zunächst 24 Stunden in Wasser gestanden, nahm in 32 Stunden 850 ccm Kupfersulfat auf und imprägnirte sich bis zum Gipfel. Alle Elemente des Holzkörpers, bis auf das Mark, nahmen Kupfervitriol auf, die Imprägnirung war intensiv bis oben. Im Mark leuchteten die Gummigänge mit smaragdgrüner Färbung auf. Die Imprägnirung reichte auch ziemlich tief in die Bastzone hinein.

Ein 12 m langer, 2 cm dicker Epheu-Stamm brachte, nachdem er 24 Stunden in Wasser gestanden, 10 Tage in 5 % Kupfersulfat zu. Der Versuch fand Mitte September statt; das Wetter war sehr ungünstig, es regnete fast unaufhörlich. Daher die Kupfersulfatlösung nur sehr langsam stieg. Es gelang trotzdem, den Stamm bis oben zu imprägniren, mit Ausnahme der noch krautartigen Sprosse des Gipfels. Ebenso gelang die vollständige Imprägnirung mit 5 % Kupfersulfat eines stark beblätterten, 5 m hohen, reich verzweigten und vielfache Verwachsungen aufweisenden Stammstückes, das mit dem Ulmenaste, der es trug, bei einem Sturme abbrach und daher zu einem Versuch verwandt wurde. Von den 6 Aesten, welche das Stammstück an der Bruchstelle bot, wurden nur 2 zunächst 24 Stunden in Wasser, dann fast einen Monat lang (vom 19. September bis zum 14. October) in 5 % Kupfervitriollösung gesetzt. Die Pflanze blieb so lange in der Lösung, bis die Blätter welkten. Es imprägnirten sich vollständig nicht nur die beiden in die Kupfersulfatlösung tauchenden Aeste, sondern von diesen aus, durch die Verwachsungsstellen, auch die übrigen Aeste, zum grossen Theile in absteigender Richtung. Das Stammstück nahm ca. 5 Liter Flüssigkeit auf.

Eine 5 m hohe, 5 cm dicke, 13-jährige Kiefer, Ende August erst 24 Stunden in Wasser, dann in 5 % Kupfersulfat gestellt, zeigte sich nach 5 Tagen intensiv imprägnirt bis zum Gipfel. Der Baum war noch ohne Kern. Die Imprägnirung reichte einerseits bis zum Mark, andererseits bis zum Kork. Innerhalb der Nadeln färbte gelbes Blutlaugensalz die Gefässtheile

ebenfalls rothbraun, rosenroth alle Sklerenchymfasern (auch die hypodermalen und die die Harzgänge umgebenden), rothbraun die tracheïdealen Parenchymzellen im Grundgewebe des Centralcylinders der Nadeln. Das Kupfersalz hatte schon nach vier Tagen die Nadeln der Gipfeltriebe erreicht.

Auch in krautartigen Pflanzen steigt Kupfersulfat gut und ist annähernd ebenso rasch in den oberen Blättern bei Bryonia oder Impatiens, wie das Eosin-Wasser nachzuweisen. Demgemäss beginnen auch bei Impatiens parviflora die Blätter einer in Kupfervitriol stehenden Pflanze fast ebenso rasch wie einer in wässriger Eosinlösung befindlichen zu welken.

In einer Reihe von Versuchen, die zunächst mit 2 m langen Zweigen von Acacia floribunda ausgeführt wurden, hatte ich zu der wässrigen Eosinlösung Jod oder Sublimat zugesetzt. Es war das ganz im Anfang meiner Versuche, wo es mir galt, unmittelbar das Protoplasma tödtende Stoffe der Pflanze zur Aufnahme zu bieten, zugleich mit Hilfe der Eosinlösung aber zu zeigen, dass dieses das Aufsteigen der Lösung innerhalb der Wasserbahnen nicht hindre. — Das Jod wurde als Jodjodkalium der Eosinlösung so lange zugesetzt, bis dass diese eine ausgeprägt braune Färbung angenommen hatte. Ich fügte unter Umständen bis 15 Gramm dunkelbraune Jodtinctur zu einem halben Liter Eosinlösung hinzu. Die mit Sublimat versetzte Eosinlösung enthielt 1 g Sublimat auf 100 Theile Wasser. — Prüfung in Fliesspapierstreifen, nach der früher geschilderten Methode, ergab für die mit Jod versetzte Eosinlösung ein eben so starkes Steigen des Jods wie des Wassers, während der Farbstoff in demselben Masse, wie bei rein wässriger Lösung, zurückblieb. Um das Steigen des Jods zu markiren, hatte ich die eine Längshälfte des Fliesspapierstreifens mit Kartoffelstärke eingerieben. Das Sublimat wies ich mit Schwefelammon nach und konnte an der Bräunung des Fliesspapiers constatiren, dass hier das Wasser schneller als das Sublimat, dieses aber noch rascher als der Farbstoff stieg. Nach 2 Stunden hatte das Wasser eine Höhe von ca. 20 cm, das Sublimat von 10 cm, das Eosin von 4 cm erreicht. Das Sublimat wird somit ebenfalls von den Pflanzenfasern fixirt und bedingt andererseits ein langsameres Aufsteigen des Eosins. — Innerhalb der Versuchszweige zeigte das Aufsteigen auch dieser combinirten Lösungen Abweichungen gegen ihr Verhalten im Fliesspapier, wiederum

dadurch veranlasst, dass der Farbstoff in den trachealen Bahnen viel rascher als im Fliesspapier dem Lösungsmittel folgte. Die mit Jod versetzte Farbstofflösung stieg ebenso rasch wie die jodfreie auf, und gelangte der Farbstoff in die obersten Phyllodien vor Tödtung derselben. In Eosinsublimatlösung zeigten sich hingegen in 1,70 bis 2 m langen Zweigen die Gefässbahnen nur bis 50 cm Höhe vollkommen tingirt, weiter hinauf nahm die Färbung rasch ab, erhielt sich nur in einzelnen Gefässen, gelangte aber, durch Vermittlung derselben, bis in die Gelenkpolster der Blätter. Das Sublimat übte augenscheinlich eine störende Wirkung auf die Leitungsfähigkeit der trachealen Bahnen aus, wie mir schien, durch Niederschläge, die es in denselben veranlasste. Die mit Jod sowohl als mit Sublimat behandelten Zweige begannen wesentlich rascher, als die in wässriger Eosinlösung stehenden, ihre Phyllodien zu rollen, und diese trockneten dann aus. In der Sublimatlösung machte sich diese Wirkung von einem Tage auf den andern geltend; etwas langsamer in der Jodlösung. Erst mit der Abtödtung der transpirirenden Flächen hörte in beiden Fällen eine merkliche Flüssigkeitsaufnahme durch den Querschnitt des Astes auf.

Bei grösserer Länge der Objecte machten sich auch bei der Jodlösung alsbald störende Wirkungen geltend, so dass es mir bei Wistaria nicht gelang, bei Anwendung der wässrigen Jodeosinlösung, Färbungen über 4 m Höhe hinaus zu erhalten [1]. Die Färbungen mit Sublimat-Eosinlösung hörten schon oberhalb des ersten Meters auf.

Ich erwähnte bereits, dass Pikrinsäure, trotz ihrer stark giftigen Wirkung auf lebendige Gewebe, und ungeachtet sie den lebendigen Zellinhalt der den Wasserbahnen angrenzenden Elemente unmittelbar fixiren muss, sehr gut in den Pflanzen aufsteigt.

---

1) Einige Versuche mit Jod - Jodkaliumlösung bei Myriophyllum proserpinacoides stellte neuerdings Bokorny an, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XXI, p. 514. Nach einstündiger Transpiration war das Jod nur 7 cm über der Schnittfläche nachzuweisen. — In einem Stengel, der 5 Minuten in wässriger Jodlösung gestanden, stieg das eisenhaltige Wasser in einer Stunde 30 cm hoch. So ergiebt sich nach Bokorny ein beträchtliches Leitungsvermögen der Gewebe nach Jodbehandlung.

Acacia floribunda, Eiche, Taxus, die in gesättigte Pikrinsäure gestellt wurden, fand ich von derselben vollständig durchfärbt. Ein 1,5 m langer Zweig von Acacia floribunda hatte nach 24 Stunden Pikrinsäure in allen seinen Theilen aufzuweisen. Ein Eichenast von 3 m Länge zeigte sich in den äusseren, leitenden Jahresringen gleichmässig gefärbt, und so auch hatte sich von den leitenden Bahnen aus die Färbung dem Baste mitgetheilt. Bei Taxus reichte die Färbung in einem 3 m langen Aste bis in die dünnen Zweige, und zeigte sich der Holzkörper in den mit Kern versehenen Theilen in den äusseren Jahresringen bis auf die helle Zone hin gefärbt, welche den Splint von dem Kerne trennt. Früh- wie Spätholz waren gleichmässig durchfärbt, irgend welche nachtheilige Veränderung am Holze nicht zu constatiren, so dass in dieser Beziehung die Pikrinsäure als ein sehr gutes Imprägnirungsmittel gelten könnte. — So stieg Pikrinsäure auch 2,5 m hoch in Stengeln von Arundo Donax.

Wie ein Versuch mit reiner Carbolsäure zeigte, war eine Aufnahme derselben durch einen Zweig von Acacia floribunda ebenfalls möglich. Dieser 1,5 m lange Zweig erwies sich nach 44 Stunden als bis zu dem Gipfel imprägnirt. Einige Stunden zuvor zeigten die Phyllodien beginnendes Welken, wurden zum Theil auch missfarbig. Abgerissen, verbreiteten sie deutlichen Carbolgeruch. Die Aststücke bestrich ich bei der Untersuchung mit Salpetersäure; sie gaben die dunkelbraune Nitrophenol-Reaction. So war es leicht, nachzuweisen, dass die Carbolsäure selbst die letzten Auszweigungen vollständig imprägnirt hatte. Dass der Aufstieg solcher Flüssigkeiten wie der Carbolsäure durch die Wechselwirkungen mit dem Wasser der umgebenden Wände und dem Zellinhalt der angrenzenden Gewebe verlangsamt werden muss, ist leicht zu begreifen.

Einige Versuche stellte ich auch mit verdünnter Schwefelsäure an und liess dieselbe, mit Farbstoff versetzt, von den Pflanzen direct aufnehmen[1]). Es war zur Hälfte mit Wasser

1) Dutrochet, Mémoires p. 214, liess bereits Wasser mit $^1/_{48}$ concentrirter Schwefelsäure von einer Mercurialis aufnehmen. Dies fand auch mehrere Tage hinter einander statt, ungeachtet der Stengel, soweit als er die Säure aufgenommen hatte, weich und gelb und augenscheinlich todt war. Es erfolgte das Saftsteigen durch den getödteten Stengeltheil in gewohnten Bahnen,

verdünnte Schwefelsäure violett gefärbt durch Zusatz von Safranin. Die Färbung war in einem starken Eichenaste, nach $2^1/_2$-tägiger Dauer des Versuchs, bis über 1 m hoch zu verfolgen. Bis zu etwa 25 cm Höhe erschienen die peripherischen Jahresringe fast schwarz gefärbt, weiter hinauf dunkelviolett. Soweit als die schwarze Färbung im Holze reichte, war dieses auch ganz weich. Dort verbreitete sich eine braune Färbung von den grossen Gefässen und den sie umfassenden Tracheïden aus über alle benachbarten Elemente; höher hinauf blieb die violette Färbung auf die nähere Umgebung dieser grossen Gefässe beschränkt. Die Gefässwände zeigten sich innerhalb des schwarz gewordenen Theiles etwas verquollen. Auch im Cambium liess sich die Schwefelsäure ziemlich weit aufwärts verfolgen und so auch innerhalb der Bastfasern. — Bei Robinia Pseudacacia stieg diese Schwefelsäure in $1^1/_2$ Tagen in den weiteren Gefässen so gut wie gar nicht, wohl aber in der letzten Spätholzzone, dort die Holzfaserwände färbend, und so auch in den Bastfasern. Der Aufstieg in den Holzfasern und den Bastfasern betrug übrigens kaum 10 cm und mag nur durch Imbibition, innerhalb der Zellwände, erfolgt sein. — In einem Fichtenast, den ich in diese Schwefelsäure setzte, war ein Aufstieg überhaupt nicht zu verzeichnen. Die Schwefelsäure machte augenscheinlich die Schliesshäute der Tüpfel unwegsam. Selbst innerhalb der eingetauchten Holztheile liessen sich die Eingriffe der Schwefelsäure bis zu einer bestimmten Höhe hin erkennen; Safraninfärbung war an keiner Stelle zu bemerken.

In rohe Salzsäure, die ich zur Hälfte mit Wasser versetzte und mit Eosin violett tingirte, wurden Zweige von Eiche, Robinia und Fichte auf $2^1/_2$ Tage gestellt. In der Eiche erreichte die Färbung annähernd 1 m Höhe und zeigte sich vornehmlich auf den letzten Jahresring beschränkt. Bei Robinia gelangte der Farbstoff ebenfalls bis zu 1 m Höhe. In dem 2 m hohen Fichtenzweig liess sich die dunkelbraun erscheinende

---

wenn auch mit gradueller Abnahme. Neuerdings hat auch Bokorny concentrirte und verdünnte Schwefelsäure in den Kreis seiner Versuche über wasserleitende Gewebe gezogen, doch liess er die Säure nur kurz einwirken, um dann Eisenvitriollösung der Pflanze zu bieten. Es ergab sich eine bedeutende Verminderung des Leitungsvermögens (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXI, p. 511).

Färbung des Holzkörpers über 1,5 m verfolgen, wobei sie sich allmählich immer mehr auf die äussersten Jahresringe einschränkte.

Ebenso verweilten Zweige der Eiche, der Robinie und Fichte $2\,^1/_2$ Tage lang in einer ganz dunkelvioletten Lösung von Kaliumhypermanganat. Bei der Eiche stieg diese Lösung nur in vereinzelten Gefässen der Peripherie, und zwar nicht über 12 cm. Die weiteren Gefässe zeigten sich bevorzugt; ihre Wände sowie deren Umgebung hatten augenscheinlich stark gelitten und erschienen für das blosse Auge wie schwarze Flecke. Bei Robinia war ein Aufstieg bis zu 20 cm zu constatiren, und zwar zunächst in ziemlich zahlreichen, dann nur noch in ganz vereinzelten Gefässen. Die zerstörende Wirkung der Lösung äusserte sich in der nämlichen Weise. Bei der Fichte zeigten sich nur ganz vereinzelte Stellen im Holzkörper bis höchstens 5 cm hinauf tingirt, die betreffenden Stellen stark angegriffen.

Mit zwei Drittel Wasser versetzte und mit Corallin gefärbte Natronlauge (von 1,330 sp. G.) stieg in Zweigen von Acacia floribunda nur wenige Centimeter. Die trachealen Bahnen waren an solchen Stellen ganz verquollen und durch diese Quellung verschlossen, so dass man deren Lumen kaum erkennen konnte. — Eine so starke Verquellung war bei der Eiche nicht zu constatiren, die Gefässlumina blieben offen, und konnte der Farbstoff daher stellenweise bis zu 1,5 m Höhe emporsteigen. Bei der Fichte erfolgte andererseits wieder so gut wie gar keine Farbstoffaufnahme [1]).

In den Gefässbahnen von Cobaea scandens, die sich für Steigversuche unter normalen Verhältnissen vorzüglich eignen, stieg Kupferoxydammoniak in 3 m langen Stengeln annähernd 2 m hoch in 3 Tagen auf. Das Laub war während dieser Zeit ganz dürr, der Stengel oberhalb der imprägnirten Theile brüchig geworden. — Silbernitrat in $1\,^0/_0$ Lösung stieg relativ

1) Bei Myriophyllum proserpinacoides verquoll nach Bokorny l. c. p. 513 der Stengel in 30 % Natronlauge, und es wurde keine Eisenlösung mehr aufgenommen. Ausser der schädigenden Natronlauge mag, meint Bokorny, auch eine Verstopfung der Gewebe durch fein vertheiltes Eisenoxydul im Spiele gewesen sein.

gut auf, wahrscheinlich bis zum Gipfel. Die Blätter eines 3 m langen Stengels welkten am zweiten Tage, der Stengel war auch am dritten Tage noch frisch. Ein 2 m langer Stengel, in Chlorwasser gestellt, wurde bis 20 cm über der Flüssigkeit gebleicht. Das Laub begann rasch zu welken, der Stengel blieb selbst nach 5 Tagen noch feucht und biegsam. — Petroleum stieg in 3 Tagen ca. 1 m, Terpentin nur ca. 20 cm, Olivenöl ca. 25 cm[1]). — In ebensolchen Cobaea-Stengeln war Eosin-Wasser nach mehrstündiger Versuchsdauer bis zu den Gipfeln angelangt.

Dass colloidale Substanzen in Folge ihrer Viscosität in den Leitungsbahnen schlecht steigen würden, lag nahe anzunehmen. Geschlossene Tüpfel mussten unter allen Umständen ein Hinderniss für ihr weiteres Vordringen bilden.

Ein halbes Liter Wasser wurde mit dem Eiweiss von 2 Hühnereiern beschickt, dann diese Lösung filtrirt und mit Eosin gefärbt. In Zweigen von Abies canadensis stieg der Farbstoff gar nicht auf.

Schon an früherer Stelle habe ich über Versuche mit Gelatine berichtet, um zu zeigen, dass auch in meinen Versuchen, wie in denjenigen früherer Forscher, die Verstopfung der trachealen Bahnen mit Gelatine ein Welken der Sprosse zur Folge hatte. Um die Höhe festzustellen, bis zu welcher die Gelatine in den trachealen Bahnen steigen kann, und auch ihr Verhalten innerhalb dieser Bahnen zu verfolgen, stellte ich eine grössere Reihe von Versuchen Ende September an. — Es wurde eine mit Eosin versetzte Gelatinelösung hergestellt, die bei 25° C bereits sehr dünnflüssig war, flüssig bis 14 eventuell 13° C blieb, bei 12° C aber zu erstarren begann. Die Versuche stellte ich, wie die entsprechenden früheren, in einem bis auf 30° erwärmten Zimmer an. Die zu den Versuchen dienenden Pflanzen wurden unter Wasser abgeschnitten und verweilten zunächst 2 Stunden lang in Wasser von ca. 30° C in dem erwärmten Zimmer. Hierauf wurden die Versuchspflanzen in die in demselben Zimmer stehende, somit dünnflüssige Eosin-Gelatine übergeführt. Sie blieben in derselben von 10 Uhr

1) Der Nachweis der Steighöhe wurde bei diesen drei Flüssigkeiten durch Betupfen von Schreibpapier mit dem dargestellten Querschnitt geführt.

Vormittags bis 5 Uhr Nachmittags. Dann liess ich das Zimmer sich langsam bis auf 20° C abkühlen und übertrug die Pflanzen schliesslich in einen nur 10° C aufweisenden Kellerraum, in welchem die Gelatine alsbald erstarrte. Die Zweige kamen hierauf in Untersuchung.

Bei Robinia Pseudacacia wurden in ca. 1 m langen Zweigen nur die Gefässe des letzten Jahresringes, und zwar nur diejenigen des Spätholzes bis zu geringer Höhe mit Gelatine angefüllt. In 5 cm Höhe fand ich diese Gefässe in einem Zweige der Mehrzahl nach, in einem anderen nur etwa zum Drittheil gelatinehaltig. In 10 cm Höhe bot der eine Zweig noch 3, der andere 5 gelatinehaltige Gefässe; in 15 cm Höhe führte je ein Gefäss Gelatine, in 20 cm Höhe war kein gelatinehaltiges Gefäss mehr zu finden. Dabei konnte man auf Längsschnitten constatiren, dass die Gelatine die Mehrzahl der Gefässe nicht continuirlich erfüllte, vielmehr dass in dieser Gelatine Blasen auf einander folgten. Diese Blasen standen mit der Wand nicht in Berührung, wurden vielmehr durch eine dünne Gelatineschicht von derselben getrennt. Gemäss diesen Verhältnissen boten auch die Querschnitte nicht mit Gelatine angefüllte, vielmehr vorwiegend nur mit einem wandständigen Gelatineringe ausgekleidete Gefässe. Nur wo der Schnitt eine Stelle zwischen zwei Blasen getroffen hatte, erschien das Gefäss ganz ausgefüllt.

Zweige von Wistaria sinensis zeigten in ihrem unteren Ende, 0,5 cm hoch, alle Gefässe von Gelatine erfüllt. In 2 cm Höhe waren die meisten Gefässe noch gelatinehaltig. In 10 cm Höhe führte noch etwa ein Viertel der Gefässe Gelatine, meist, doch nicht immer die weitesten. In 11 cm Höhe ging ein Seitenzweig ab; in diesem waren, in 20 cm Höhe, noch 21 Gefässe gelatinehaltig; in 30 cm Höhe enthielten 5 Gefässe die gefärbte Gelatine; in 40 cm kein einziges Gefäss mehr. Die Untersuchung bot hier dieselben Merkmale wie bei Robinia. Die Gelatinefüllungen enthielten Luftblasen, die meist allseitig umhüllt waren, eventuell auch einseitig einer Wand anlagen. In 20 cm Höhe waren die Luftblasen in den Einschlüssen meist schon sehr lang und die Gelatineschicht, die solche Luftblasen von der Gefässwand trennte, sehr dünn.

In einem Eichenzweige liess sich die Gelatine bis über 1,5 m Höhe verfolgen. In den unteren Theilen zeigten sich

zwei Jahresringe, weiter hinauf nur der äussere Jahresring auf diese Weise gefärbt. In dem unteren Theile kamen ganz angefüllte Gefässe neben solchen vor, die Luftblasen in der Gelatine führten. Weiter hinauf waren nur Füllungen letzterer Art anzutreffen. Die Zahl der gelatinehaltigen Gefässe nahm zugleich stätig ab. — In einem anderen Zweig war die Gelatine nur 60 cm gestiegen, zuletzt in einer nur sehr geringen Anzahl von Gefässen.

In Zweigen von Vitis Labrusca waren fast alle Gefässe am unteren Ende, ca. 1 cm hoch, mit Gelatine erfüllt worden. In 10 cm Höhe ging die Zahl der gelatinehaltigen Gefässe auf zwei, beziehungsweise auf nur ein Drittel zurück. In 20 cm Höhe führte noch etwa ein Zehntel der Gefässe Gelatine. In 30 cm ebenso, oder auch eine viel geringere Zahl. In 40 cm wurden 2 bis 7 Gefässe, in 50 cm 1 bis 3, in 60 ein, beziehungsweise kein gelatinehaltiges Gefäss gefunden. Die Luftblasen in der Gelatine, die mit zunehmender Höhe an Zahl und Ausdehnung zunehmen, waren hier oft besonders schön zu verfolgen.

Bei Cobaea scandens fand ich 5 cm hoch die Gefässe grösstentheils gelatinehaltig. Mit steigender Höhe nahm die Zahl solcher Gefässe rasch ab, doch fanden sich auch noch in 30 cm Höhe einige weitere und engere Gefässe mit Gelatine vor. In 40 cm Höhe erschien die Färbung auf ein Gefäss reducirt und hörte dann ganz auf. Die Gelatine schloss Luftblasen ein, wie in den anderen Fällen. Die aus den weiten Gefässen herausgedrückten Gelatinecylinder zeigten stellenweise schöne Abdrücke von Tüpfeln.

Damit Quecksilber in die trachealen Bahnen der Pflanze eindringe, muss dessen capillare Depression zunächst überwunden werden. Findet man somit Quecksilber in einer Anzahl von Gefässen der in Quecksilber gesetzten Pflanzen vor, so folgt daraus, dass sich in diesen Gefässen eine entsprechende negative Luftspannung eingestellt hatte. Die Steighöhen, die ich mit Zweigen erhielt, welche zunächst 3 Stunden in Wasser standen und dann erst in Quecksilber gelangten, waren übrigens nur sehr gering im Verhältniss zu denjenigen Werthen, die sich bei Durchschneidung von Zweigen, welche noch mit der Mutterachse zusammenhängen, unter Quecksilber ergeben. Das langsamere Aufsteigen bei sich allmählich steigernder Saugung wird durch

die starke Adhäsion des Quecksilbers an den nassen Gefässwänden und dessen bedeutende Cohäsion alsbald sistirt, während letzterer Widerstand bei starkem Einsaugen in die unter Quecksilber durchschnittenen Zweige durch das rasche Einströmen der axialen Theile der Quecksilberfäden überwunden wird.

Kräftige Zweige von Smilax, Robinia, Vitis, Quercus, Rosa wurden unter Wasser vom Stamme geschnitten, verweilten dann 3 Stunden in Wasser und wurden hierauf erst in Quecksilber gestellt, in welchem sie ca. 1 cm tief eintauchten. Nach 24 Stunden, nachdem die Blätter aller dieser Zweige mehr oder weniger welk geworden waren, nahm ich die Untersuchung vor. Bei Smilax fanden sich in 0,5 cm Höhe ca. zwölf weite Gefässe injicirt, bei 1 cm etwas weniger, bei 2 cm nur noch zwei, bei 3 cm nur noch eins, bei 4 kein einziges. Robinia hatte in den unteren 3 Centimetern eine ziemlich grosse Zahl injicirter Gefässe aufzuweisen. Weiter hinauf nahm die Zahl dieser Gefässe rasch ab; bei 15 cm befand sich nur noch ein injicirtes Gefäss, höher hinauf keines. Bei Vitis war die Zahl der injicirten Gefässe auch im untersten Centimeter nur gering; ein injicirtes Gefäss liess sich 9 cm hoch verfolgen. Bei Quercus hörte die Injection der Gefässe schon in 0,5 cm Höhe vollständig auf. Bei der Rose liess sich das Quecksilber in einigen wenigen Gefässen bis 3 cm hoch verfolgen. — In einem Spross von Cobaea scandens, der einen Tag lang in wässriger Eosinlösung gestanden und der hierauf in Quecksilber übertragen wurde, stieg dasselbe in einigen Gefässen bis 30, in einem bis 35 cm.

Für die Farbstofflösungen und Salzlösungen, welche zu bedeutender Höhe innerhalb der trachealen Bahnen aufsteigen, ist damit auch ohne weiteres erwiesen, dass sie durch die Schliesshäute der Tüpfel zu gehen vermögen. Diese Schliesshäute müssen sehr durchlässig sein, um auch bei Coniferen, in den oberen Theilen der Bahnen, eine Imprägnation, wie wir sie constatirt haben, zu ermöglichen. Dass die Tangentialtüpfel der Coniferen nicht minder durchlässig sind, habe ich dadurch festgestellt, dass ich Zweige, durch Vermittlung dieser Tüpfel allein, bestimmte Lösungen aufnehmen liess. Es wurden Taxuszweige zu diesem Zwecke im Herbste, nach Abschluss der Vegetation, wo somit die Tangentialtüpfel der letzten Spättracheïden zu äusserst liegen, in ihrem unteren Theile, bis auf

das Holz vorsichtig entrindet, unten am Querschnitt mit Gummikappen wasserdicht verschlossen und hierauf in Lösungen von Kupfersulfat, gelbem Blutlaugensalz, schwefelsaurem Natron und Traubenzucker gestellt. Wie vorauszusehen war, erfolgte Aufnahme aller dieser Körper in die Zweige, wo sie sich innerhalb des Holzkörpers leicht nachweisen liessen.

Die Leitungsfähigkeit getödteter Pflanzentheile.

Im Herbst des vorigen Jahres theilte Böhm auf der Naturforscherversammlung zu Heidelberg mit, dass Pflanzen von Phaseolus mehrere Wochen lang am Leben zu erhalten seien, auch nachdem ihr Stengel zwischen Laub und Wurzeln eine Strecke weit, über der Mündung eines Kolbens mit kochendem Wasser getödtet worden sei. Die auf diese Weise getödteten, bandartig und durchscheinend gewordenen Stengeltheile erreichten in seinen Versuchen bis 18 cm [1]).

Andererseits hatte bereits Hansen festgestellt, dass ein reichbeblätterter Pappelzweig, der an seiner Basis 15 cm entrindet, dann eine halbe Stunde lang gekocht und hierauf in kaltes Wasser gestellt worden war, seinen Wasserbedarf durch das gekochte Holz deckte und sogar mehr Wasser aufnahm als ein ungekochter Vergleichszweig [2]). Durch das Kochen schien somit die Leitungsfähigkeit des Holzes zeitweise sogar erhöht zu werden.

Derselbe Gedankengang, der mich veranlasst hatte, giftige Substanzen von abgeschnittenen, über 10 m hohen Bäumen aufnehmen zu lassen, führte mich auch dahin, zu versuchen, ob ich wohl über 10 m lange, bewurzelte Pflanzen in ihren oberen Theilen eine Zeit lang am Leben würde erhalten können, nachdem ich sie auf einer über 10 m langen Strecke getödtet hätte. Ebenso versuchte ich es, in ihren oberen Theilen noch lebendige, auf mehr denn 10 m künstlich getödtete Pflanzen durch den Querschnitt Farbstofflösungen aufnehmen zu lassen,

1) Berichte der Deutsch. Bot. Gesell. 1889. Bericht der Generalversammlung p. 55.

2) Beitrag zur Kenntniss des Transpirationsstromes, Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg, Bd. III, p. 306.

um festzustellen, ob auch durch eine vorher getödtete, über 10 m lange Strecke der Farbstoff bis zu den lebendigen Theilen würde emporsteigen können. Ein positiver Erfolg war hier von vorn herein bei denjenigen Pflanzen unwahrscheinlich, die ihre Leitungsbahnen rasch mit Wundgummi oder mit Thyllen gegen todte Stellen abschliessen. Ich hielt mich daher an solche Pflanzen, bei welchen ich glaubte, einen solchen raschen Abschluss nicht annehmen zu müssen. Zunächst wählte ich Wistaria, suchte dann auch krautartige Stengel von entsprechender Länge für meine Versuche zu erlangen.

Mit Wistaria wurden drei Versuche angestellt, zu welchen zwei 15 m lange, dicht am Boden entspringende Aeste und ein 13 m langer, etwa in 2 m Höhe dem Hauptstamm entspringender Ast dienten. Einer der 15 m langen Aeste und der 13 m lange Ast trugen nur am Gipfel mehrere kräftige belaubte Zweige. Die Zahl der Blätter überstieg an dem kürzeren Aste nicht 12, doch waren dieselben auffallend gross und kräftig. Der längere Ast hatte über 80, jedoch wesentlich kleinere und zartere Blätter aufzuweisen. Beide Aeste wurden gleichzeitig am 12. Juni Nachmittags entsprechend zusammengerollt in einem nebenstehenden grossen Kessel mit Wasser von 90° eine halbe Stunde lang gebrüht. Die gebrühte Strecke betrug 10,5 m. An dem längeren Ast blieb das unterste, 1,5 m lange und das oberste, 3 m lange Stück ungebrüht. Der kürzere Ast kam von seiner Ursprungsstelle an in das heisse Wasser; ausserhalb desselben blieb sein oberes, 2,5 m langes Ende. Die belaubten Enden beider Aeste wurden durch nasse Tücher vor dem schädlichen Einfluss der heissen Wasserdämpfe geschützt. Nach der Operation erfogte ein Aufrichten beider Aeste am Poppelsdorfer Schloss. Nach 2 Tagen begann das Laub des längeren zu welken, während der kürzere noch ganz turgescent sich zeigte. Nach 2½ Tagen fing auch das Laub des letzteren an, Zeichen des Erschlaffens zu geben. Nunmehr wurden beide Sprosse an ihrer Basis unter Eosin-Wasser durchschnitten und so lange in demselben gelassen, bis keine weitere Aufnahme erfolgte. Das geschah nach fünf Tagen, worauf die Sprosse in Stücke zerlegt wurden. In dem längeren war der Farbstoff 5,5 m, in dem kürzeren 8,5 m hoch zu verfolgen. — Der dritte, 15 m lange, an seiner Basis 2 cm dicke Ast trug einen kurzen belaubten Zweig in 5 m Höhe, gabelte sich in 7,5 m Höhe

und war von 13,5 m an reichlich mit Blättern versehen. Dieser Zweig wurde gleich zu Beginn des Versuches unter Wasser abgeschnitten und dann auf 12 m Länge, eine halbe Stunde lang in Wasser von über 90 ° C gebrüht. Dann liess ich den Ast aufrichten und setzte ihn mit dem unteren Ende in Eosin-Wasser ein. Er blieb in demselben vom 16. bis zum 21. Juni stehen. Auch in der letzten Nacht nahm er noch Farbstofflösung auf, doch da seine Blätter schon Tags zuvor ganz welk geworden waren, brach ich den Versuch ab und zerlegte den Ast in Stücke. Auch in diesem Stamm hatte der Farbstoff die oberen Blätter nicht erreicht, doch hörte er erst bei 10,8 m auf. Der kurze, in 5 m Höhe entspringende Zweig, der sammt seinen Blättern zugleich mit dem Stamme gebrüht worden war, zeigte sich, so wie der Stamm in jener Höhe, vollständig durchfärbt. — Eine Untersuchung dieses Stammes, sowie der beiden vorhergehenden, ergab stellenweise Schutzgummibildung in Gefässen, so namentlich auch in denjenigen der Blattgelenke. Stellenweise waren auch schleimige Massen in den Gefässen der gekochten Stammtheile vorhanden, alles Umstände, welche das Aufsteigen erschweren und das Zurücktrocknen von oben begünstigen mussten. Ein Aufsteigen von Flüssigkeit war aber in allen drei Fällen, und das ist das Entscheidende, erfolgt, ungeachtet die transpirirenden Organe sich weit über 10 m hoch über der aufnehmenden Wurzel, alsdann ebenso hoch über der aufzunehmenden Flüssigkeit befanden und von der Aufnahmestelle durch einen mehr als 10 m langen, getödteten Stammtheil getrennt waren. In dem einen Falle, in welchem der Farbstoff direct dem 12 m langen abgetödteten Aste geboten wurde, reichte die Tinction sogar über 10 m hoch hinauf.

Diese Versuche waren von schönem, warmem Wetter begünstigt und damit die Bedingungen geschaffen, von welchen in erster Linie die Möglichkeit abhängt, auch die Farbstofflösung durch den getödteten Pflanzentheil zu bedeutender Höhe hinaufzubringen. Wird durch nasses und kaltes Wetter die Transpirationsgrösse an dem Versuchsobjecte herabgedrückt, so gewinnen in demselben die störenden Einflüsse, welche den Aufstieg hemmen, alsbald einen Vorsprung, und wird die Farbstofflösung in ihrem weiteren Vordringen dann aufgehalten.

Schon ein Jahr vor Anstellung der eben geschilderten Versuche hatte ich Gelegenheit gehabt, an Wistaria einige Er-

fahrungen zu sammeln, über welche zu berichten hier erst der geeignetste Ort sein dürfte. An einem 14 m langen Aste, der dicht über dem Boden entsprang und noch in Verbindung mit seinem Stamm stand, hatte ich nämlich, in etwa 10,5 m Höhe, einen ca. 1 m langen Abschnitt gebrüht. Das wurde erreicht, indem ich die betreffende Stelle in einen Kessel mit über 90 ° C heissem Wasser hineinbog und eine halbe Stunde lang der Einwirkung des letzteren aussetzte. Der Stamm wurde hierauf an seiner Basis unter Wasser durchschnitten, in Eosin-Wasser gestellt und, wie bei den anderen Versuchen, aufgerichtet. Nach 36 Stunden waren bereits die Blattpolster der oberhalb der getödteten Stelle entspringenden Blätter tingirt. Nach 48 Stunden fingen hierauf diese Blätter zu welken an. Bis zur gebrühten Stelle war, wie die Untersuchung lehrte, die Färbung des Stammes die gewohnte und auf den Holzkörper beschränkt. Innerhalb der gebrühten Partie erschien sie diffus und auch über das collabirte Gewebe des Cambiums und des Siebtheils verbreitet. Weiter hinauf, in den nicht gebrühten Sprosstheilen, schränkte sich die Färbung wieder auf den Holzkörper ein.

Ein anderer, 11 m langer Stamm von Wistaria, der gleichzeitig unter Wasser abgeschnitten, alsdann an seiner Basis dreiviertel Stunden lang, auf einer Strecke von 1 m, in Wasser von über 90 ° C gebrüht und hierauf in Eosin-Wasser gestellt worden war, zeigte sich nach 24 Stunden 9 m hoch gefärbt. Bis zum Gipfel vermochte der Farbstoff aber nicht zu gelangen.

Versuche mit gebrühter Hedera fielen weit ungünstiger aus. Dieses hing wohl damit zusammen, dass beim Brühen relativ grosse Wassermengen in den Holzkörper dieser Pflanze aufgenommen wurden, zunächst zur Verwendung kamen und das Eosin-Wasser bei zu spätem Nachrücken auf schon veränderte Bahnen stiess. Die directe Controle lehrte, dass das Eosin-Wasser sich bei seinem Aufstieg von den trachealen Bahnen aus über die sämmtlichen getödteten Gewebe des Stammes ausbreitete, sich somit gewissermaassen in einer Bahn von dem Durchmesser des ganzen Holzkörpers aufwärts bewegte. Das im Stamm aufgespeicherte Wasser diente somit zunächst zur Deckung der Transpirationsbedürfnisse der oberen lebendigen Gewebstheile. Oberhalb der gebrühten Stelle bilden sich aber inzwischen Verschlüsse aus, Bacterienschleim findet sich stellen-

weise ein, und der Wasserstrom wird schliesslich sistirt. Immerhin gelang es doch, bei einem 10,5 m hoch gebrühten, in Eosin-Wasser mit dem unteren Querschnitt gestellten, am Baume emporgerichteten Stamme Steighöhen des Farbstoffes bis über 5 m zu erhalten. Der Versuch wurde drei Mal wiederholt mit Stämmen von 12 bis 14 m Länge. Die Blätter des oberen ungebrühten Theiles erhielten sich fast 14 Tage turgescent. Leider begünstigte die Witterung alle diese Versuche nur wenig, weiteres Material von Hedera zu einer Wiederholung der Versuche war aber nicht mehr zu erlangen.

Zu bemerken ist, dass aus allen solchen, auf längere Strecken hin gebrühten Pflanzen, wenn man dieselben aufgestellt hat, zunächst Wasser abfliesst und somit die in den Gefässen zur Aufnahme dargebotene Flüssigkeit vermehrt. Erst nach einiger Zeit stellt sich ein Fallen dieser Flüssigkeit ein. Bei krautartigen Pflanzen ist diese Erscheinung noch auffälliger als bei Holzgewächsen. Sie wird veranlasst zum Theil von Wasser, das von der benetzten Oberfläche des Pflanzentheils abfliesst, grösstentheils aber durch Ausfluss auch geöffneter Gefässe, die das in ihrem Innern eingeschlossene Wasser bei Aufrichtung des Sprosses nicht zu halten vermögen.

Von krautartigen Pflanzen dienten Bryonia und Cucurbita zu meinen Versuchen; ausserdem wurden dieselben auf den etwas secundäres Holz bildenden Hopfen ausgedehnt. Da Bryonien, sich selbst überlassen, 7 m Länge meist nicht zu überschreiten pflegen, so suchte ich längere Exemplare dadurch zu erlangen, dass ich die Seitenzweige an einzelnen besonders kräftigen Trieben dauernd entfernte. Auch die Ausbildung von Blüthen und Früchten wurde an solchen Trieben möglichst beschränkt. Bei trocknem Wetter liess ich die Pflanzen täglich begiessen. So gelang es, einzelne Triebe von über 10 m zu erzielen; freilich kam auch der längste Trieb nicht über 10,6 m hinaus. Von Cucurbita Pepo wurden hingegen an schräg gespannten Schnüren, und zwar ohne künstliches Entfernen der Seitentriebe, mehrere Sprosse von über 12 m, der längste von 12,9 m, erzielt. Um diese Länge zu erreichen, hatte der betreffende Spross vom 1. Juni, wo er etwa 0,5 m hoch im Freien ausgepflanzt wurde, bis zum 1. October gebraucht, was für die betreffende Zeit ein durchschnittliches Wachsthum von etwas mehr als 10 cm täglich ergiebt. In Wirklichkeit wird dieses

Wachsthum an manchen Tagen weit ergiebiger gewesen sein, wie denn in der zweiten Septemberhälfte nur noch ein unbedeutender Zuwachs stattgefunden hatte. — Der an sehr hohen Stangen erzogene Hopfen erreichte in einzelnen Exemplaren eine Länge bis zu 12,2 m.

Am 18. August wurden drei Stück Bryonien von 7 m, 7,5 m und 7,63 m Länge so weit von der Wurzel aufwärts gebrüht, dass nur je ein Meter lebendigen Körpertheils an ihrem Ende verblieb. Das Brühen erfolgte in Wasser von 90 ° C und dauerte 10 Minuten. Nach der Operation wurden die Pflanzen an angrenzenden Bäumen emporgerichtet. Die Blätter der lebendigen Gipfel blieben 4, zum Theil 5 Tage turgescent; dann folgte ein rasches Welken. Ein solches vollzog sich an gleichzeitig abgetrennten Sprossstücken von Bryonien, die zum Vergleich am gleichen Standort aufgehängt wurden, schon in wenigen Stunden.

Fünf Stück anderer Bryonien, deren eine 10,6 m erreichte, eine andere 10,2, während die übrigen zwischen 9 und 10 m Länge schwankten, wurden am 19. August unter Wasser am Boden abgeschnitten, 10 Minuten in Wasser von 90 ° C auf 8,25 m, die längste auf 9,5 m gebrüht und in Eosin-Wasser senkrecht aufgestellt. Nach 48 Stunden zeigte die Untersuchung in den fünf Pflanzen einen Aufstieg des Farbstoffes, der zwischen 6 und 8 m schwankte. In 7 m Höhe waren noch drei Pflanzen gefärbt, in 8 m Höhe nur noch eine. Ueber das obere Ende der gebrühten Stelle kam in keiner dieser Pflanzen der Farbstoff hinaus, was sich daraus erklärt, dass an dieser Stelle, sowie noch eine Strecke weit in den gebrühten Theil hinein, sich schleimige Substanzen in den Gefässen besonders anzusammeln pflegen. Diese werden erzeugt, bevor noch die Farbstofflösung die betreffende Stelle zu erreichen vermag. Nur bei wesentlich kürzeren Exemplaren wird diese Stelle häufig überschritten.

Am 20. September habe ich zwei Aeste von Cucurbita Pepo zu den Versuchen vorbereitet. Der eine dieser Aeste war 12,25 m, der andere 12,1 m lang. Von beiden wurden alle Seitengebilde bis zu 10,5 m entfernt und hierauf beide auf dieser ganzen Länge 10 Minuten lang in Wasser von 90 ° gebrüht. Die Pflanzen blieben 10 Tage am Poppelsdorfer Schlosse aufgerichtet stehen. Sie tauchten mit ihrem unteren Ende in

Eosin-Wasser, von welchem sie in dieser Zeit annähernd je zwei Liter aufnahmen. Die oberen, lebendig gelassenen Theile der Pflanze waren mit kräftigen, gut entwickelten Blättern versehen. Diese Blätter begannen erst am vierten Tage zu welken; völlig trocken waren sie auch am 10. Tage nicht. Schönes, warmes Wetter begünstigte den Versuch. Die definitive Steighöhe des Farbstoffes mochte schon am vierten Tage erreicht gewesen sein, ich liess aber die Pflanzen so lange stehen, als noch eine nennenswerthe Aufnahme der Lösung durch den unteren Querschnitt erfolgte. Vom 3. Tage an begann die Oberfläche des Stengels sich in dem unteren Theile zu röthen; diese Färbung stieg auf und war in einigen Tagen bis über 8 m hoch zu verfolgen. Die am 10. Tage vorgenommene Untersuchung lehrte, dass der Farbstoff in dem einen, 12,25 m langen Stengel bis 9,5 m reichte. Bis zur Höhe von 8,5 m war das gesammte Gewebe durchfärbt, höher hinauf nur die Gefässbündel. In 9 m Höhe liessen sich vielfach Schleimmassen in den Gefässen constatiren. Der andere, 12,1 m lange Stengel zeigte die Färbung in einzelnen Gefässbündeln bis zu 10,2 m Höhe, wo das weitere Aufsteigen, wenigstens zum Theil, durch Schleimbildung verhindert war. — Ein dritter Cucurbita-Stengel, der 8 Tage später aufgestellt wurde, ergab, da das Wetter ungünstig wurde, weniger zufriedenstellende Resultate.

Am 19. August wurden zwei Hopfenstengel von 11,5 und 11,8 m Länge 7 m hoch in Wasser von 90° C 20 Minuten gebrüht und in Eosin-Wasser aufgestellt. In beiden stieg, bei günstigem Wetter, die Farbstofflösung in 48 Stunden bis in den ungebrühten, reich belaubten Theil und war in dem einen 10,3 m, in dem anderen, wenn zuletzt auch nur in vereinzelten Bahnen, fast 10,5 m hoch zu verfolgen. Ein dritter, 12,2 m langer Stengel, der 10,5 m hoch gebrüht und 3 Tage später aufgestellt worden war, zeigte sich bei der Untersuchung bis 9,4 m Höhe, doch zuletzt nur noch in einzelnen Stellen, gefärbt. Ungünstiger fiel ein Versuch am 20. September aus mit einer freilich schon etwas altersschwachen Pflanze. Der Stengel erreichte 11 m Länge; er wurde bis auf 10 m Höhe gebrüht. Die nach 10 Tagen vorgenommene Untersuchung zeigte den Farbstoff bei 7,5 m Höhe nur noch an vereinzelten Stellen. — Auch die Hopfenstengel erschienen, wie Bryonien und Cucurbita, bis zur Oberfläche roth gefärbt. Für den letzterwähnten

Stengel notirte ich eine von aussen sichtbare Färbung bis zu 6,5 m Höhe.

An diese maassgebenden Versuche mit Pflanzen, die auf einer mehr als 10 m langen Strecke getödtet worden waren, ohne ihre Leitungsfähigkeit für Wasser einzubüssen, seien einige entsprechende Angaben über weniger hohe Pflanzentheile, mit welchen ich in gleicher Weise experimentirt habe, angeschlossen. Ich gehe auch auf diese Versuche noch ein, weil sie mir Gelegenheit zu mancher Beobachtung boten, die geeignet ist, das Vorausgegangene zu ergänzen. Im Anschluss an die Versuche mit den hohen Pflanzen gewinnen auch die an niedrigeren angestellten jetzt ihre Bedeutung, da man nunmehr schliessen darf, dass auch bei dem Saftaufstieg in den letzteren nicht andere Kräfte als bei den ersteren im Spiele waren. So berechtigt aber ein Schluss von den hohen Pflanzen auf die niedrigen erscheint, so unzulässig war derjenige von niedrigen auf hohe. Denn die Schwierigkeiten, die Erscheinungen des Saftsteigens in den Pflanzen auf Grund physikalischer Thatsachen zu deuten, stellten sich, bei dem bisherigen Stand dieser Frage, vornehmlich erst in grösserer Höhe ein. Bei niedrigeren Gewächsen war mit Luftdruck, Wurzeldruck und den bekannten Erscheinungen der Capillarität auszukommen; dieselben versagten erst dann, wenn es sich um Wasserhebung auf grössere Höhen handelte.

An Bryonien von 7 bis 8 m Länge, die nach dem früheren Verfahren auf 6 m gebrüht und in Eosin-Wasser aufgestellt waren, gelang es mir bei klarem Himmel und warmem Wetter wiederholt, den Farbstoff bis in die lebendigen Theile hinein, somit durch die kritische Stelle hindurch, die über dem oberen Ende des gebrühten Abschnittes liegt, zu bekommen. Von drei Pflanzen, mit denen ich beispielsweise am 26. Juli den Versuch anstellte, und die, 6 m hoch gebrüht, eine Länge von 7,2 m, 7,4 m und 7,55 m zeigten, erwies sich nach 24 Stunden die erste bis zum Gipfel, die zweite 7 m, die dritte 6,5 m hoch gefärbt. In allen Versuchen mit annähernd ebenso langen Pflanzen bei ungünstiger Witterung, blieb der Farbstoff innerhalb des gebrühten Theiles stehen und konnte unter solchen Umständen nur bei wesentlich niedrigeren Pflanzen über denselben hinausgehen.

Bei denjenigen Bryonien, welche, an der Wurzel gelassen, auf eine bestimmte Strecke hin gebrüht werden, pflegt der ungebrühte Theil, unter sonst gleichen Verhältnissen, um so länger frisch zu bleiben, je kürzer die gebrühte Strecke ist. So gelang es mir, 1 m weit gebrühte Pflanzen in ihrem oberen Theile über eine Woche lang frisch zu erhalten. Erst nach Ablauf dieser Zeit begannen sich die Blätter zu verfärben, sichtlich zu leiden und welkten hierauf. Die fortwachsenden Sprossenden bleiben am längsten frisch. Mit zunehmender Länge der gebrühten Stelle summiren sich alsbald die Hindernisse der Wasserzufuhr, und gelang es mir beispielsweise 4 bis 4,5 m lange Pflanzen, die 3 m weit gebrüht worden waren, nicht über 5 Tage frisch zu erhalten. Bei trockenem Wetter schrumpft der gebrühte Stengeltheil sehr stark zusammen und wird fast fadenförmig dünn. Er verfärbt sich zugleich und erscheint für das Gefühl fast trocken. Sind durch Zufall einzelne Blätter des gebrühten Stengeltheils während der Operation ausser Wasser geblieben und wurden sie aus irgend welchem Grunde nicht getödtet, so können sie denn wohl auch mehrere Tage lang turgescent und lebendig inmitten des getödteten und geschrumpften Stengelabschnittes verharren. Sie hängen dann, bei sonst normalem Aussehen, an ihrem geschrumpften Blattstiel herab, der aber fortfährt sie mit dem nöthigen Transpirationswasser zu versorgen. Ja ich habe sogar Blätter beobachtet, die unter solchen Umständen in ihrer basalen Hälfte todt, geschrumpft, für das Gefühl trocken waren, in der apicalen Hälfte tagelang lebendig und turgescent blieben. Die Wasserzufuhr zu den lebendigen Theilen wurde somit durch die Nervenbündel des getödteten Abschnittes besorgt. Dass ein ebensolches Blatt, vom Stengel abgeschnitten, in kürzester Zeit ganz welk und trocken wird, kann man jeden Augenblick feststellen.

Dasselbe Resultat für das Aufsteigen von Eosin-Wasser, wie die in ihren unteren Theilen gebrühten Bryonia-Pflanzen, ergaben auch solche, die zuvor durch Aufnahme von Alcohol bis gegen den Gipfel hin getödtet worden waren. Die betreffenden Pflanzen schnitt ich unter 96 $^0/_0$ Alcohol an der Basis durch, liess sie längere Zeit den Alcohol aufnehmen und führte sie dann in wässrige Eosinlösung über. Je nachdem nun ein längeres oder kürzeres Stück am Gipfel der Pflanze noch am Leben

war, stieg das Eosin-Wasser schneller oder langsamer und erreichte mehr oder weniger vollständig den Gipfel. Ein Aufsteigen des Eosin-Wassers fand auch dann noch statt, wenn der Alcohol die ganze Versuchspflanze zum Welken gebracht hatte. In einem Falle beispielsweise, wo die Pflanze $56^1/_2$ Stunde in Alcohol gestanden und, die äusserste Spitze ausgenommen, ganz welk geworden war, erreichte das Eosin-Wasser in 48 Stunden 3,7 m Höhe und liess nur die letzte, 1,8 m lange Strecke ungefärbt. Bis in 3 m Höhe war das gesammte Gewebe des Stengels jetzt von dem Eosin-Wasser durchfärbt worden, als wenn Eosin-Alcohol-Tinction vorläge; erst oberhalb dieser Höhe schränkte sich die Färbung auf die Gefässbündel ein, ohne jedoch die Siebtheile auszuschliessen. Der durch Aufnahme des Alcohols stark geschrumpfte, scharfkantig gewordene Stengel rundete sich bei der Eosin-Wasser-Aufnahme wieder ab. — Eine andere, 4 m lange Pflanze, die 36 Stunden lang Alcohol aufgenommen hatte und 2,7 m hoch geschrumpft war, färbte sich mit Eosin-Wasser in 36 Stunden 3,5 m hoch. Dann wurde noch ein anderer, 5,5 m langer Stengel, der bei sehr warmem Wetter 16 Stunden in Alcohol gestanden hatte und bis 2,7 m Höhe geschrumpft sich zeigte, in Wasser-Eosin gestellt. Nach 24 Stunden war die Belaubung bei 4,5 m Höhe deutlich welk, darüber noch annähernd turgescent; der Stengel auch für äussere Betrachtung schon 3 m hoch roth. Der Farbstoff war bis 4,7 m zu verfolgen; 3 m hoch zeigten sich alle Theile des Stengels gefärbt mit Ausnahme des Markes und der Peripherie. Weiter hinauf localisirte sich die Färbung immer mehr auf die Gefässbündel, doch ohne den Siebtheil derselben auszuschliessen. — Bei schlechtem Wetter pflegte auch dieser Versuch weit ungünstigere Ergebnisse zu liefern.

Aeste von Robinien, Ahorn, Rothbuchen, Aristolochia, Vitis, die, abgeschnitten, auf meterlange Strecken hin in Wasser von 90° getödtet wurden, nahmen hierauf wässrige Eosinlösung auf und führten sie bis zu den blättertragenden, transpirirenden Gipfeln. — Dasselbe geschah, wenn diesen Aesten erst farbloser Alcohol und hierauf die wässrige Eosinlösung geboten wurde. Sollte letztere rasch aufsteigen, so durfte nicht bis zum Welken der Blätter, d. h. bis zu dem Augenblick gewartet werden, wo der Alcohol dieselben erreichte. Häufig zeigte sich bei kürzerer Versuchsdauer, dass nach Alcoholbehandlung die Eosinfärbung

nicht bis in den Gipfel reichte; wurde aber lange genug, trotz erfolgten Abwelkens der Blätter gewartet, so konnte man den Farbstoff meist bis in den Spitzen finden. Nach dem Verdorren der Blätter ist die Verdampfung, die weiterhin von der Oberfläche derselben aus erfolgt, so unbedeutend, dass das Nachliefern von Flüssigkeit nur noch äusserst langsam vor sich geht. So wurde einem 3 m hohen Eichenzweig zunächst 4 Tage lang Alcohol durch die Schnittfläche geboten, dann, nachdem die Blätter bereits welk geworden, 4 Tage lang reines Wasser und hierauf erst Eosin-Wasser. Die Untersuchung wurde, in Voraussicht sehr langsamen Steigens, erst 3 Wochen später vorgenommen, zeigte dann aber auch den Farbstoff fast bis in dem Gipfel. Ein 4 m langes Aststück von Wistaria erhielt ebenfalls 4 Tage lang Alcohol, hierauf, nachdem es welk geworden, 4 Tage lang reines Wasser, hierauf Eosin-Wasser. Nach 3 Wochen zeigte sich der Stamm nicht ganz 3 m hoch gefärbt, doch auch im obersten ungefärbten, über 1 m langen Abschnitt noch wasserreich und noch ebenso biegsam wie zuvor. — Aeste von Vitis Rosa und Cobaea wurden 4 Tage lang in Alcohol, hierauf 2 Tage lang in reines Wasser gestellt, hierauf durch Zurückschneiden aller Blätter und Seitenzweige beraubt und hierauf erst in Eosin-Wasser übergeführt. Nach 5 Tagen war in dem 3 m langen Vitis-Spross der Farbstoff bereits 1,5 m hoch, in dem 1 m langen Rosenast etwa zu zwei Drittel Höhe, in dem 2 m langen Cobaea-Stengel 1,2 m hoch gestiegen.

Bei allen diesen Untersuchungen wurde durch Zusatz antiseptischer Mittel zu dem Eosin-Wasser und wiederholte Erneuerung der unteren Querschnittsfläche für Offenhaltung der Leitungsbahnen nach Möglichkeit gesorgt. Dass Leitungsstörungen durch Verschluss dieser Bahnen trotzdem nicht ganz zu verhindern waren, liegt auf der Hand.

Aehnlich verhielt es sich mit der Aufnahme von Eosin-Alcohol durch Pflanzentheile, denen zuvor reiner Alcohol geboten worden war. Ein kräftiger Bryoniastengel von 5 m Länge, der seine ersten Blätter in 3,7 m Höhe trug, stand zunächst 47 Stunden in Alcohol und wurde hierauf, nach vollständigem Abwelken der Blätter, in Eosin-Alcohol übergeführt. Mit Ausnahme des letzten halben Meters erfolgte die Durchfärbung der Pflanze in 24 Stunden. Der Stengel, der in dem farblosen Alcohol geschrumpft war, behielt, wie selbstverständlich, dieses Aussehen

auch bei Eosin-Alcohol-Aufnahme. — Ein 8 Jahre alter, 3,5 m langer, 2,5 cm dicker Ast von Robinia stand 3 Tage in farblosem Alcohol, dann wurde er, nachdem die Blätter deutlich die Einwirkung des Alcohols durch beginnende Verfärbung angezeigt hatten, in Eosin-Alcohol übertragen. In ca. 48 Stunden nahmen die Blattspindeln auch der obersten Blätter deutlich rothe Färbung an, der Farbstoff war somit bis zum Gipfel des Sprosses gelangt.

Ein 8 m langer Wistaria-Stamm, der in 5 m Höhe ein erstes Blattbüschel trug, wurde zunächst 2 Stunden lang in Alcohol gestellt, von dem er auch eine beträchtliche, aber nicht näher bestimmte Quantität aufnahm, dann in Wasser-Eosin. Nach 24 Stunden war die Färbung bereits in dem ersten Blattbüschel über 7,5 m hoch im Stamme nachzuweisen. In einen bei 7 m entspringenden Seitenzweig war der Farbstoff noch nicht eingetreten und auch nicht in die oberhalb 7 m befindlichen Blätter, die daher auch alle noch ganz frisch erschienen. Der zuerst dargebotene Alcohol war somit auch nicht bis in die obersten Blätter gelangt.

Ein 5,45 m langer Vitis-Ast wurde 4 m hoch hinauf in Wasser von 90° C 1 Stunde lang gebrüht. Er kam alsdann in Eosin-Wasser und beförderte dasselbe in 8 Stunden bis in seinen Gipfel. Das Holz zeigte sich für das blosse Auge ziemlich gleichmässig bis 3 m Höhe durchfärbt, doch ergab die mikroskopische Untersuchung eine Bevorzugung in der Färbung der engeren Leitungsbahnen. Höher hinauf localisirte sich die Färbung dieses Astes auf diejenigen beiden Seiten, denen die Zweige entsprangen. In letzteren, welche nicht gebrüht worden waren, hatte sich die Färbung deutlich auf die trachealen Bahnen beschränkt. In den Blattbahnen traten die roth gefärbten Gefässtheile der Bündel scharf hervor.

Die zuletzt mitgetheilten Versuche mussten mich auch weiter dazu führen, Farbstofflösungen solchen Pflanzentheilen zu bieten, die ich vollständig getödtet, auch wohl ihres Gipfels beraubt hatte, bei welchen lebendige, transpirirende Organe somit ganz eliminirt waren. Es stellte sich, wie gar nicht mehr anders zu erwarten war, heraus, dass auch in solchen Pflanzentheilen die Farbstofflösung nicht minder, wenn auch langsamer, steigt, wenn nur dafür Sorge getragen wird, dass das Versuchs-

object, von seinem oberen Ende aus, nicht allzu rasch austrockne, und dass auch sonstige störende Einwirkungen, Verstopfung der Bahnen und dergleichen, nicht zu bald sich geltend machen.

Zugleich mit den langen Cucurbita-Stengeln, welche, auf 10,5 m gebrüht, mit einem lebendigen, mehr oder weniger reich beblätterten Gipfel abschlossen, stellte ich am Poppelsdorfer Schloss auch solche Cucurbita-Stengel auf, die, aller Blätter und des Gipfels beraubt, ihrer ganzen Länge nach in Wasser von 90° C getödtet worden waren. Der längste der so gebrühten Stengel hatte 12 m, andere zwischen 9 und 11 m. Das Eosin-Wasser stieg bei trocknem Wetter in diesen Stengeln ganz ebenso auf, wie in den an ihrem Gipfel lebendigen und belaubten, nur war dieser Aufstieg langsamer; langsamer besonders im Vergleich zu Sprossen mit sehr starker Laubentwicklung am Gipfel, während der Unterschied gegen solche Sprosse, die nur wenige Blätter dort trugen, sich weit weniger markirte. Die Verdunstung an der ganzen Oberfläche schaffte in den Wasserbahnen der vollständig getödteten Stengel Raum für die nachrückende Farbstofflösung; bei anhaltendem Regen konnte der Aufstieg hingegen fast sistirt werden. Dass in den völlig abgetödteten Stengeln die Vertheilung des Farbstoffes in den Geweben keine andere war, als in den mit lebendigem Gipfel versehenen, braucht wohl nicht erst hervorgehoben zu werden, und es sei nur bemerkt, dass auch diese völlig abgetödteten Stengel sich alsbald bis zu ihrer Oberfläche durchfärbten. Der höchste Aufstieg, den ich in einem solchen, seiner ganzen Länge nach gebrühten Cucurbita-Stengel erzielte, betrug 9,2 m.

Die übrigen diesbezüglichen Versuche wurden vornehmlich im Laufe des Herbstes 1889 und des darauf folgenden Winters ausgeführt. Es kamen besonders Stengel von Cobaea scandens und von Cyclanthera explodens zur Verwendung. Dass ich diese Versuche nunmehr auch im Winter ausführen konnte, hing mit einer Erfahrung zusammen, die ich schon im vorausgegangenen Sommer gemacht hatte und welche mich lehrte, dass die getödteten Pflanzentheile auch getrocknet ihren Werth für Steigversuche mit Flüssigkeiten nicht verlieren. Ja, diese Erfahrung wurde die directe Veranlassung dazu, dass ich die Steigversuche mit vollständig abgetödteten Pflanzentheilen auf eine Zeit, wo ich dies mit lebendigen nicht thun konnte, ver-

legte. In Wasser gebrühte, dann rasch an der Luft getrocknete Stengeltheile zeigten sich für die Versuche wiederholt geeigneter als mit Alcohol getödtete, da nicht selten in dem Alcohol gelöste Stoffe weiterhin die trachealen Bahnen verstopfen. Immerhin kam vielfach auch Alcoholmaterial mit gutem Erfolg zur Verwendung. — Sollten die getrockneten Pflanzentheile zu einem Steigversuche dienen, so mussten dieselben zuvor in Wasser aufgeweicht, ihre Wände mit diesem imbibirt, die Luft aus den trachealen Bahnen ausgetrieben und durch Wasser ersetzt werden. — Aus der Thatsache, dass ausgetrocknete Leitungsbahnen — und ich habe nicht allein mit krautartigen Gewächsen, sondern auch mit Holzpflanzen experimentirt — durch Injection mit Wasser ihre Leitungsfähigkeit zurückerlangen, folgte zugleich, dass die Vorstellung, das Holz verliere durch das Austrocknen an sich seine Leitungsfähigkeit für Wasser ohne dieselbe zurückerlangen zu können, nicht berechtigt sei.

Dicht über dem Boden abgeschnittene Stengel, vornehmlich von Cobaea scandens und von Cyclanthera explodens, wurden aller ihrer Blätter, der Seitentriebe und des Gipfels beraubt, dann zusammengerollt in Wasser von ca. 90° C eine halbe Stunde lang gebrüht, hierauf zum Theil zusammengerollt, zum Theil gerade gestreckt rasch an der Luft getrocknet.

Zunächst sei über einige Vorversuche mit trockenen Abschnitten solcher Stengel berichtet. Dieselben wurden in verschiedener Länge, zum Theil nur ein Internodium in sich fassend, in wässrige Eosinlösung gestellt und mehrere Tage in derselben gelassen. Der Farbstoff stieg im Maximum nur 7 cm über die Flüssigkeitsoberfläche. Innerhalb der Gefässe reichte die Färbung nicht höher hinauf als in dem umgebenden Gewebe. So weit auch erschien der Stengel gequollen, abgerundet, seine Zellwände imbibirt. Höher hinauf zeigte er sich trocken und verschrumpft. Da nun für die engeren Gefässe der Versuchsobjecte die capillare Steighöhe weit über 7 cm beträgt, so geht aus diesen Versuchen hervor, dass in trockenen, lufthaltigen Gefässen das Wasser schlecht steigt. In den Internodialstücken, die zu den Versuchen dienten, waren viele Gefässe an beiden Enden offen und auch in ihrem Verlauf ununterbrochen, so dass sonstige Hindernisse den Aufstieg nicht hemmten. — Der Versuch fiel nicht anders aus, als ich der wässrigen Eosinlösung antiseptische Stoffe zusetzte, um Schleimbildung und Verstopfungen

der Gefässe durch Bacterien zu verhindern. Die directe Beobachtung des Vorgangs lehrte, dass die Flüssigkeit zunächst in den Gefässen aufstieg und sich von diesen aus erst auf die Umgebung verbreitete. In gleichem Verhältniss schreitet dann die Quellung vor. Dieselbe erfolgte zunächst ziemlich schnell, dann mit steigender Höhe immer langsamer. Sie eilte der Färbung etwas voraus. Die Versuche wurden unterbrochen, sobald die Quellung nicht mehr merklich fortschritt. Das genügte für meine Zwecke. In längeren Zeiträumen wären wohl bedeutendere Höhen zu erreichen gewesen. Ein so äusserst langsamer Aufstieg von Imbibitionswasser kam aber für die mich beschäftigenden Probleme nicht mehr in Betracht.

Entsprechende Versuche, mit alcoholischer Eosinlösung ausgeführt, zeigten den Farbstoff nach 4 Stunden schon an dem oberen Ende 12 cm langer Stengelstücke angelangt. Am nächsten Tage, im Ganzen nach 18 Stunden, war der Alcohol in längeren Stengelstücken 20 cm hoch über dem Flüssigkeitsspiegel nachzuweisen. Die Flüssigkeit stieg nachweisbar am schnellsten in den engen Gefässen der Gefässbündel, folgte in den anderen nach und diffundirte dann in das umgebende Gewebe. Quellungserscheinungen waren damit nicht verbunden: die Stengelstücke behielten äusserlich ihr geschrumpftes, kantiges Aussehen; sie blieben ebenso hart und brüchig wie zuvor. Höher als 20 cm über dem Flüssigkeitsspiegel stieg auch der Alcohol nicht, selbst wenn der Versuch tagelang fortgesetzt wurde. Diese die Steighöhe des Wassers um das Mehrfache überschreitende Steighöhe des Alcohols in den trockenen Stengelstücken mag durch dieselben Eigenschaften des Alcohols bedingt sein, die ihn befähigen, Luft aus mikroskopischen Präparaten auszutreiben, wozu er bekanntlich benutzt wird. — Andere entsprechende Stengelstücke, die in Terpentinöl gestellt wurden, zeigten für dieses eine noch um etwas bedeutendere Steighöhe wie für Alcohol, nur stieg das Terpentinöl weniger rasch. Nach 20 Stunden fand ich es erst in 13 cm Höhe, nach 48 Stunden aber 22 cm hoch über dem Niveau der Flüssigkeit vor (in einem anderen Versuche nur 20 cm). Das Terpentinöl, welches somit ganz schlecht in frischen Pflanzentheilen steigt, zeigt eine relativ bedeutende Steigfähigkeit in trockenen Pflanzentheilen. In den frischen Pflanzentheilen verhindert der Wassergehalt der Zellwände dasselbe am Vordringen. Schwefeläther, der mit Alcanna

tingirt war, stieg noch etwas höher wie Alcohol und Terpentin. Nach 3 Tagen fand ich denselben 32 cm über der Oberfläche der Flüssigkeit vor. Petroleum erreichte in 3 Tagen 22 cm; Petroleum-Benzin gar 40 cm. Olivenöl stieg unter denselben Verhältnissen nur 7 cm. — Es fällt auf, dass alle die besonders gut in den trockenen Pflanzentheilen aufsteigenden Flüssigkeiten: Alcohol, Aether, Terpentin, Benzin, zu denjenigen gehören, welche nach Plateau, eine schwächere Viscosität an der Oberfläche als im Innern besitzen [1]). Man könnte dadurch veranlasst werden beide Erscheinungen in Verbindung zu bringen. Andererseits gehören aber auch die fetten Oele, so das Olivenöl, zu denjenigen Flüssigkeiten, die etwas geringere Viscosität an der Oberfläche als im Innern zeigen, und doch steigt das Olivenöl nur wenig auf in den trockenen Leitungsbahnen der Pflanze. Man müsste denn etwa die an sich schon sehr hohe [2]) Viscosität dieser Flüssigkeit als Ursache ihres Verhaltens ansehen wollen. Hauptsächlich hängt die bessere Steigfähigkeit aller der zuvor genannten Flüssigkeiten im Gegensatz zu Wasser jedenfalls damit zusammen, dass sie viel leichter als letzteres trockene Körper benetzen, eine Eigenschaft, deren Folgen wir an einer anderen Stelle noch werden zu erörtern haben.

Stücke von Cobaea- und Cyclanthera-Stengeln, die ich, ohne sie zu brühen, nach erfolgter Zurückschneidung der Blätter und Zweige, frisch an geeigneten Orten hatte trocknen lassen, verhielten sich nicht anders als wie die mit heissem Wasser getödteten und dann getrockneten.

Ebenso auch Stengelstücke derselben Pflanze, die ich frisch in lange, mit 96% Alkohol gefüllte Röhren eingeführt hatte und die nach wochenlangem Verweilen in Alcohol langsam getrocknet wurden. Auch in diesen Stengelstücken stiegen die zu den Versuchen angewandten Flüssigkeiten nicht höher als in den anderen. Ein Stengel von Senecio micaniaeformis, den ich frisch in eine lange Röhre mit Alcohol eingeführt hatte und der getrocknet dann ebenfalls zu den Versuchen diente, glich in seinem Verhalten den anderen Stengeln und wird hier nur erwähnt, weil er beim Austrocknen kaum schrumpfte und fast das Aussehen eines frischen Stengels besass.

---

1) Statistique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires, Bd. II, 1873, p. 45 ff.

2) l. c. p. 56.

Nicht anders reagirten auch Stengelstücke von Cobaea und Cyclanthera, die mit heissem Wasser getödtet und getrocknet, dann wieder aufgeweicht, durch achttägigen Aufenthalt in Alcohol entwässert und vor dem Versuche von neuem getrocknet wurden.

Aststücke von Wistaria, Aristolochia, Robinia und Salix, die ich durch $1^1/_2$ Stunden langes Brühen in Wasser von 90° tödtete und dann trocknete, gaben, in Eosin-Wasser gestellt, keine anderen Resultate wie entsprechende Stücke krautartiger Pflanzen.

Dass in trockenen Pflanzentheilen das Wasser nicht merklich aufsteigt, ist schon längst bekannt. Getrocknete Schösslinge von Rohr, Hollunder, Aprikosen- und Pfirsichbäumen, die Bonnet [1]) in Tinte stellte, nahmen den Farbstoff, im Gegensatz zu frischen, selbst während 8-tägiger Versuchsdauer nicht auf. Ebenso constatirte Treviranus [2]), dass die Farbstoffaufnahme durch Zweige unter solchen Umständen nicht über die Oberfläche der gebotenen Flüssigkeit reiche. Da durch Th. Bischoff [3]) gegen die Bonnet'schen Versuche der Einwand erhoben wurde, in trockenen Pflanzentheilen seien die Gefässe geschlossen, so suchte Treviranus an seinen Objecten mikroskopisch sicherzustellen, dass ein solches Hinderniss nicht vorlag. — Th. Hartig [4]) fasste aber seine diesbezüglichen Erfahrungen dahin zusammen, dass „frisch geschnittene Steckreiser aller Holzarten, der Laubhölzer sowohl als der Nadelhölzer, im Winter sowohl wie im Frühlinge geschnitten, belaubt oder unbelaubt, durch den Holzkörper gefärbte Flüssigkeiten aufnehmen und dieselben unverändert, von Zelle zu Zelle „bis zur oberen Schnittfläche des Steckreises führen". „Todte und völlig ausgetrocknete Steckreiser hingegen führen die Flüssigkeit nicht höher als bis zum äusseren Spiegel derselben. Nur in einzelnen Holzröhren steigt sie etwas höher auf." — Böhm [5]) giebt an, dass in lufttrocknen Zweigen

1) Recherches sur l'usage des feuilles dans les plantes, 1754, p. 266.

2) Physiologie der Gewächse, Bd. I, 1835, p. 302.

3) De vera vasor. plant. spiral. struct. et funct., 1829, p. 60.

4) Ueber Aufsaugung gefärbter Flüssigkeiten durch Steckreiser und belaubte Triebe, Bot. Ztg., 1853, Sp. 617.

5) Wird das Saftsteigen in der Pflanze durch Diffusion, Capillarität oder durch Luftdruck bewirkt? Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., Bd. L, I. Abth., Math.-naturwiss. Cl., 1864, p. 533.

das Wasser, selbst nach Monaten, nicht mehr als 6 Zoll über den Wasserspiegel steigt. — Das erste rasche Steigen in trocknen Zweigstücken erfolgt, wie wir gesehen haben, durch Capillarität innerhalb der Gefässe und ermöglicht so auch ein rasches Fortschreiten der Imbibition. Soweit durch Imbibition selbst das Wasser weiter gehoben werden soll, geschieht dies sehr langsam. Das giebt für lufttrocknes Holz auch Dufour [1]) an. Ein lufttrocknes, 20 cm langes, mit seiner Rinde bedecktes Holzstück wird, wenn es vor Verdunstung geschützt ist, mit dem einen Ende aber in Wasser taucht, allmählich mit diesem gesättigt. Das in den Holzwänden imbibirte Wasser wandert langsam weiter, bis das andere Ende des Holzstückes erreicht ist. Dieses Fortleiten des Wassers in den Zellwänden lässt sich auch durch das Feucht- und Schwerwerden von luftrocknen Holzscheiten erweisen, wenn die Luft in ihrer Umgebung feucht wird [2]).

Bei meinen Versuchen wollte in getrockneten Cobaea- und Cyclanthera-Stengeln das Eosin-Wasser auch dann nicht mit merklicher Schnelligkeit aufsteigen, wenn ich die Stengelstücke zuvor in Wasser von 80 bis 90 ° C aufgeweicht hatte und hierauf im gequollenen Zustande in die Lösung stellte. Die Stengelstücke trockneten bis auf wenige Centimeter über dem Flüssigkeitsspiegel zurück. Der gequollene Zustand, in welchem sich die Zellwände des grossen Stengelstückes befanden, reichte somit nicht aus, um ein erheblicheres Aufsteigen von Wasser in demselben zu ermöglichen. Das Imbibitionswasser der Zellwände erwies sich so gut als unbeweglich. Die mikroskopische Untersuchung lehrte aber, dass auch in diesen so gequollenen Stengelstücken Luft die trachealen Bahnen noch füllte. Dieser Umstand musste es somit sein, der auch jetzt noch das Aufsteigen der Flüssigkeit hinderte.

In Folge dessen wurden nunmehr die getrockneten Stengelstücke zunächst eine halbe Stunde lang in heissem Wasser aufgeweicht und nach erfolgtem Aufquellen die trachealen Bahnen mit Hilfe einer Wasserstrahlluftpumpe mit Wasser injicirt. Die Injection ging leicht von statten, wenn dafür gesorgt wurde, dass der Stengel mit einem Ende aus dem Wasser, in dem er

1) Beiträge zur Imbibitionstheorie, Arb. des bot. Inst. zu Würzburg, Bd. III, p. 39, vergl. auch Sachs.

2) Sachs, Pflanzen-Physiologie, II. Aufl., p. 222.

sich befand, hinausragte. So injicirte Stengel verhielten sich alsdann wie frische. Die Injection der Zellwände beim Erwärmen in Wasser einerseits, die Injection der Lumina der trachealen Bahnen mit der Wasserstrahlluftpumpe andererseits, hatte ihnen ihre volle Leitungsfähigkeit wiedergegeben. Ueberflüssig ist wohl hervorzuheben, dass ich denselben Erfolg erzielen konnte, wenn ich das Erwärmen in Wasser, durch ein längeres Verweilen in Wasser von gewöhnlicher Temperatur ersetzte; nur musste gewartet werden, bis der Stengel vollständig gequollen war. Hierauf hatte dann, wie selbstverständlich, die Injection mit Wasser noch zu erfolgen.

Wenn ich die gequollenen und injicirten Stengelstücke mit dem einen Ende in Eosin-Wasser stellte, so konnte dasselbe nunmehr nach Ablauf einer bestimmten Zeit an dem anderen Ende anlangen. So auch blieben die ca. 0,5 m langen Stücke, wie ich sie mir zunächst zugeschnitten hatte, beliebig lange turgescent, wenn ich nur dafür Sorge trug, dass nicht irgend welche Schleimmassen die Bahnen verstopften. Solche Stengelstücke zeigten sich alsbald vollständig durchfärbt und gaben nicht unbeträchtliche Flüssigkeitsmengen, die dementsprechend in dem Gefäss ersetzt werden mussten, durch Verdampfung an die Atmosphäre ab. Um die Mengen des Farbstoffes in den Geweben solcher Stengelstücke nicht all zu sehr zu steigern, setzte ich weiterhin nur noch reines Wasser, etwas mit Campher als Antisepticum versetzt, der Flüssigkeit zu.

Von dem Augenblick an, wo der Versuch mit kürzeren Stengelstücken gelungen war, lag es nahe, denselben mit längeren zu wiederholen und steigerte ich diese Länge schliesslich bis zu denjenigen Maassen, die mir zugänglich waren. Der Erfolg war stets der nämliche, nur wuchs mit zunehmender Länge der Stücke die Schwierigkeit, das obere Ende derselben vor zu frühem Austrocknen zu schützen. Bei so getödteten Stengeln, denen der die Verdunstung regulirende Schutz lebendiger Gewebe fehlt, kann nämlich das Austrocknen an einer höher gelegenen Stelle unter Umständen weniger Zeit beanspruchen, als die Zufuhr von Wasser bis zu derselben. Ist aber der Wassergehalt eines Stengelstückes erst wieder unter ein bestimmtes Maass gefallen, so hat dieses Stengelstück damit auch seine Leitungsfähigkeit wieder eingebüsst. Ich suchte daher die Verdunstungsgrösse durch niedere Temperatur, durch Steigerung

des Dampfgehalts der umgebenden Luft, durch lockere Umwicklung mit Staniol, endlich auch durch Einführung in weite Glasröhren herabzusetzen. So wurde es mir möglich, nicht nur relativ sehr lange Stengel bis zum Gipfel mit Eosin-Wasser zu färben, sondern sogar auch die Versuche mit Eosin-Alcohol zu wiederholen. Letztere bereiten übrigens nur dann einige Schwierigkeiten, wenn man das Wasser in den injicirten Stengeln zunächst durch Alcohol ersetzt und diese Stengel hierauf erst Eosin-Alcohol aufnehmen lässt. Hingegen gelingen die Versuche selbst mit relativ langen Stengeln ohne Anwendung besonderer Vorsichtsmaassregeln, wenn man diese Stengel, mit Wasser injicirt, in den Eosin-Alcohol stellt. Um mit solchen Stengeln zu experimentiren, in welchen das Wasser durch Alcohol zuvor ersetzt werden sollte, führte ich die mit Wasser injicirten Stengel in ein, eventuell auch in zwei durchschnittlich je 2 m lange, an einander gefügte und an einem Ende verschlossene Verbrennungsrohre ein und goss 90 % Alcohol in dieselben ein. So liess ich das Object 8 Tage lang stehen, nach welcher Zeit ich sicher annehmen konnte, dass alles Wasser dem Spross entzogen und durch Alcohol ersetzt worden war. Nunmehr goss ich den Alcohol ab, öffnete das Rohr an beiden Enden und hing es dicht über einer mehrere Centimeter hohen Schicht von Eosin-Alcohol auf, während der Stengel mit seinem unteren Ende in dieselbe tauchte. Es empfahl sich dabei, den Stengel mit seinem aufwärts gekehrten Ende so zu befestigen, dass er frei in dem Rohr schwebte. In solche Stengel konnte der Eosin-Alcohol rasch zu bedeutender Höhe aufsteigen. Doch musste dafür gesorgt werden, dass andererseits auch die Verdunstung innerhalb des Rohrs nicht all zu sehr herabgesetzt sei. Unter Umständen stieg der Eosin-Alcohol sogar besser in frei aufgehängten Stengeln solcher Art, dann für alle Fälle besonders rasch.

Bei allen diesen Versuchen war es gleichgiltig, ob der Stengel in normaler oder umgekehrter Richtung die Flüssigkeit zu leiten hatte.

Stengel von Cobaea, Cyclanthera und andern Pflanzen, die ich frisch in Verbrennungsröhren einschob und durch Eingiessen von 96 % Alcohol fixirte, liessen sich zu den Versuchen ebenso gut wie die in heissem Wasser getödteten brauchen. Zu diesem Zwecke wurde der Alcohol, nachdem die Pflanzen mindestens

14 Tage in demselben verweilt hatten, entfernt und sofort Wasser eingegossen. Hatte sich dann der Stengel mit letzterem vollgesogen, so functionirte er ganz ebenso wie ein zuvor getrockneter, dann in Wasser aufgeweichter und mit der Wasserstrahlluftpumpe injicirter. Auch konnte ein solcher in Alcohol fixirter Stengel, den man an der Luft hatte trocknen lassen, zu den Versuchen dienen, wenn er in Wasser aufgeweicht und mit der Wasserstrahlluftpumpe injicirt worden war. Nur für gewisse Objecte, so Stammtheile von Vitis und Luftwurzeln von Philodendron hatte das Fixiren im Alcohol Nachtheile, da harzige in Alcohol gelöste Stoffe die trachealen Bahnen hin und wieder verstopften.

Aus einer sehr grossen Reihe von Versuchen, die ich angestellt habe, wähle ich im Folgenden eine Anzahl zu eingehender Mittheilung aus, wobei Cobaea und Cyclanthera ganz besondere Berücksichtigung finden sollen.

Zunächst sei daran erinnert, dass ich zuvor schon über einen hierher gehörigen Versuch berichtet habe, den ich mit einem nicht weniger als 11 m langen, frisch gebrühten Stengel von Cucurbita Pepo ausführte. Dieser Stengel, der von seinem Gipfel und von allen Seitengebilden befreit und seiner ganzen Länge nach gebrüht worden war, hob das Eosin-Wasser nichtsdestoweniger bis zu 9,2 m. Im Anschluss an diesen Versuch führte ich auch einen solchen mit einem entsprechend behandelten Stengel von 8,5 m Länge, der in Eosin-Alcohol gestellt wurde. Der Eosin-Alcohol stieg entschieden noch schneller als das Eosin-Wasser, verrieth sich nach 24 Stunden an der rothen Färbung des Stengels etwa in 6 m Höhe und war bei 7,8 m Höhe nachzuweisen, als die Untersuchung nach 48 Stunden vorgenommen wurde.

Im Folgenden seien die Versuche mitgetheilt, die ich mit gebrühten und getrockneten, hierauf wieder aufgeweichten und injicirten krautigen wie holzigen Stammtheilen angestellt habe.

Die benutzten Pflanzentheile waren naturgemäss viel kürzer, weil mit längeren die nothwendigen Manipulationen auf technische Schwierigkeiten stiessen.

In einem Cobaea-Stengel von 2,3 m Länge, der in Eosin-Wasser gestellt und nach 48 Stunden untersucht wurde, fand sich der Farbstoff in 1,75 m Höhe noch in dem ganzen Gewebe, bei 1,9 m nur noch in einzelnen Gefässbündeln vor.

Darüber hinaus war der Stengel ausgetrocknet. In einem andern Cobaea-Stengel war von 4 Uhr Nachmittags bis 11 Uhr Morgens, somit in 19 Stunden die Färbung äusserlich schon 1,8 m hoch zu erkennen. Am nächsten Tage, nach 42 Stunden, war der Farbstoff schon 2,5 m hoch angelangt; nach 64 Stunden 3 m hoch, und noch 70 cm vom Gipfel entfernt, den der Farbstoff auch niemals mehr erreichte. — Ein anderer, 4 m langer Stengel von Cobaea färbte sich in derselben Zeit 3 m hoch, höher hinauf war er trocken und brüchig geworden; weiterhin trocknete er bis auf 2 m herab aus, wahrscheinlich wegen theilweiser Verstopfung der Bahnen. — In einem 2,2 m langen Cobaea-Stengel stieg der Farbstoff 2 m hoch in 20 Stunden.

Dass an so präparirten Stengeln durch das Abschneiden der Seitengebilde alle trachealen Bahnen nach aussen geöffnet wurden, hinderte den Aufstieg nicht. Daraus aber den Schluss zu ziehen, dass auch in den nach aussen geöffneten trachealen Elementen die Flüssigkeit aufgestiegen sei, wäre voreilig. Vielmehr zeigte die directe, hierauf gerichtete Untersuchung, dass solche Gefässe, die offen nach aussen münden, auch frei von Farbstoff bleiben. Die Färbung wird erst jenseits einer Scheidewand möglich, welche einen Abschluss gegen die eindringende Luft gewährt. Sobald aber dieser Abschluss vollzogen ist, wird auch das weiteste Gefäss in den getödteten Pflanzentheilen leitungsfähig und fand ich bei Cucurbita Pepo die weiten Gefässe der Bündel an den betreffenden Stengeln selbst in 7 m Höhe tingirt. Diese Tinction tritt besonders deutlich an den getüpfelten, die Gefässe trennenden Scheidewänden hervor. Die engen Gefässe, beziehungsweise die Tracheïden zeigen sich in ihrer Leitungsfähigkeit bevorzugt; ihre Tinction reicht auch viel näher an die Schnittflächen heran, was sich aus den weit zahlreicheren Verschlüssen innerhalb derselben erklärt. Namentlich die Färbung von Tracheïden kann schlechterdings bis an die Schnittfläche selber reichen. — Auch in den jetzt zu den Versuchen verwandten todten Stengeln musste sich die Farbstofflösung rasch von den trachealen Bahnen über die Umgebung verbreiten. Zunächst färbt sich der Siebtheil, in welchem die Geleitzellen besonders hervortreten, alsdann das an den Gefässtheil grenzende Markgewebe, dann auch das übrige Gewebe. Sobald sich in den oberen Theilen des Stengels die

Färbung auf einzelne Gefässbündel einschränkt, zeigt sich auch nur die Umgebung derselben tingirt.

Eosin-Alcohol stieg in den mit Wasser imbibirten und injicirten Cobaea-Stengeln, so wie wir das schon bei Cucurbita-Stengeln constatirten, etwas rascher als das Eosin-Wasser. In einem 4 m langen Stengel war der Farbstoff nach 19 Stunden 1,9 m, nach 24 Stunden 3,3 m, nach 64 Stunden über 3,5 m hoch zu verfolgen. Als der Spross 24 Stunden später untersucht wurde, zeigte er sich bis auf wenige Centimeter Entfernung vom Gipfel gefärbt, nur diese letzten Centimeter waren hart und brüchig. Die Gefässe dieser brüchigen Stellen führten einen gummiartigen Stoff im Innern, der sich in Wasser löste. — Ein anderer, relativ dünner, 3,5 m langer Spross blieb mit Eosin-Alcohol in den obersten 70 cm ungefärbt und zeigte sich nicht nur auf dieser Strecke, sondern alsbald auch noch 30 cm tiefer trocken und brüchig. — Ein dritter, 3 m langer Spross war wiederum in 20 Stunden bis auf wenige Centimeter Entfernung vom Gipfel von Eosin-Alcohol durchfärbt. — Ein 2,15 m langer Stengel von Cyclanthera führte in 18 Stunden Eosin-Wasser bis zum Gipfel. Der Umstand, dass der Stengel an einzelnen Stellen Knickungen erfahren hatte, störte den Aufstieg nicht. Der Stengel schrumpfte nach dem Aufstellen etwas zusammen, rundete sich aber in dem Maasse wieder ab, als die Färbung stieg. Der Stengel war beim ersten Brühen und auch wieder beim Aufweichen so durchscheinend geworden, dass die Färbung im Innern desselben sich sehr leicht verfolgen liess. So konnte man auch direct von aussen constatiren, dass die Gefässbündelfärbung derjenigen der umgebenden Gewebe vorauseilte. Die Gefässe an unteren Stengelenden erreichten einen Durchmesser von 0,23 mm. Drückte man die Stengelstücke, während man ihren Querschnitt mit der Lupe betrachtete, zusammen, so trat aus den Gefässen so gut wie ausschliesslich Flüssigkeit, nur aus den Intercellularen Luft hervor. Ein 3,5 m langer Stengel von Senecio micaniaeformis aus Bordighera führte das Eosin-Wasser in 24 Stunden 2 m hoch herauf. Weiter stieg der Farbstoff nicht, es trocknete der Spross vielmehr bis auf diese Stelle zurück. Die Gefässbahnen zeigten sich bei der Untersuchung stellenweise von Inulinsphäriten mehr oder weniger vollständig verstopft. — In Stengeln von Lophospermum scandens stieg die wässrige Eosinlösung eben so gut

wie bei Cobaea. — Eine entsprechend behandelte, 2,6 m lange Luftwurzel von Philodendron grandifolium, umgekehrt aufgehängt und mit ihrem basalen Ende in Eosin-Wasser gesetzt, führte dasselbe in 2 Tagen bis zu den unfertigen Geweben ihres Scheitels empor; nur dieser Scheitel selbst, soweit fertige Gefässtracheïden ihm noch fehlten, blieb ungefärbt. — Sprosse von Wistaria, Vitis, Aristolochia, Rosa, aller Blätter und Seitenzweige, sowie der Gipfeltriebe beraubt und $1^1/_2$ Stunden lang in Wasser von 90° C gebrüht, dann getrocknet, wieder aufgeweicht und injicirt, verhielten sich nicht wesentlich anders. Ein Aststück von Vitis, 2 m lang, in Eosin-Wasser gestellt, nach 8 Tagen untersucht, zeigte die Färbung bis zu 1,2 m Höhe. Es war vornehmlich an zwei gegenüberliegenden Seiten, von je ein Viertel des Umfangs, tingirt. In dem noch ungefärbten Theil zeigte es sich noch feucht und flexil und führte dort ganz vorwiegend Wasser und nur wenig Luftblasen in den Gefässen. Die Ursache des relativ schlechten Steigens der Farbstofflösung unter den gegebenen Umständen lag somit nur in der geringen Verdunstung von der Oberfläche des durch Korklagen gut geschützten Stammes. Andere, 1,5 m, 2,5 m und 3 m lange, entsprechende Aststücke von Vitis, in einem stark geheizten Zimmer aufgestellt, führten den Farbstoff, wenn auch langsam, fast bis oben hinauf. Dasselbe that ein 1,5 m langer Weidenast. Aristolochia, 5 m lang, färbte sich in zwei Wochen bis über die Hälfte; eine 2 m lange Glycine that dies fast bis oben. Freilich waren aber die beiden äusseren Jahresringe nur etwa 30 cm hoch gleichmässig durchfärbt, dann wurde die Färbung unregelmässig, so dass bei 1,5 m nur noch ein Drittel des Ringes gefärbt erschien; weiter hinauf schränkte sich der Farbstoff allmählich auf drei, schliesslich auf zwei Stränge ein. — Zum Vergleich wurde ein 6 m langes Aststück von Aristolochia gleich nach dem ersten Brühen in Eosin-Wasser gestellt. Letzteres stieg in drei Wochen ca. 4 m hoch. Die beiden oberen Meter waren ungefärbt, doch noch wasserreich und flexil. Ebenso kam ein 4 m langes Aststück von Wistaria gleich nach dem ersten Brühen zu entsprechender Verwerthung. Dasselbe färbte sich innerhalb eines kalten Raumes in drei Wochen nur 2 m hoch und war bis zu dieser Höhe von oben zurückgetrocknet.

In einem 2,2 m langen Cobaea-Stengel, der nach erfolgter Imbibition und Injection, auf 8 Tage in 96 % Alcohol gesetzt

und dem hierauf Eosin-Alcohol geboten wurde, hatte der Farbstoff in 4 Stunden schon den Gipfel erreicht. Bei so raschem Aufstieg, der innerhalb eines weiten Verbrennungsrohres erfolgt war, trocknete auch nichts von dem oberen Ende des Stengels zurück, so dass der Farbstoff sich selbst über die obere Schnittfläche verbreitete. — Ein anderer, zunächst ebenso behandelter, 85 cm langer Cobaea-Stengel wurde nach Abgiessen des Alcohols aus dem Verbrennungsrohr genommen und, um die Verdunstung herabzusetzen, locker mit Staniol umwickelt. Auch dieser Stengel wurde bis oben durchfärbt, und zwar zeigte sich 66 cm hoch die Färbung sehr intensiv, weiter hinauf immer schwächer. Der vorhergehende Stengel wie dieser letzte waren in Alcohol hart und brüchig geworden und blieben es auch naturgemäss, während der Eosin-Alcohol in ihnen aufstieg.

Auch in beliebig lange aufbewahrten Herbarpflanzen kann man, falls dieselben rasch getrocknet wurden und offene Wasserbahnen behielten, Farbstofflösungen aufsteigen lassen. Es genügt, zu diesem Zwecke diese Pflanzen längere Zeit zu brühen und mit der Wasserstrahlluftpumpe zu injiciren. Diese Versuche führte ich, bei vollem Erfolg, mit relativ langen Herbarexemplaren von Convolvulus und von Umbelliferen aus. Stellt man das Exemplar trocken in die Lösung, so ist der Aufstieg ganz unbedeutend.

Nach solchen Ergebnissen lag es nahe, auch an den aufgeweichten und injicirten Stengeln Klemmen anzubringen. Es stellte sich heraus, dass die Klemmen den Flüssigkeitsstrom hier ebenfalls nur dann unterbrechen, wenn sie die trachealen Bahnen vollständig abgeschlossen haben. Sonst durchsetzt die Farbstofflösung die Klemme; ihr Aufstieg erfährt nur eine entsprechende Verzögerung, welche freilich die Gefahr eines Zurücktrocknens des Stengels von oben her wesentlich vergrössert. Auch unter der Klemme wird bereits der Aufstieg verlangsamt. So zeigten beispielsweise von zwei völlig gleichen, je 2,5 m langen Cobaea-Stengeln, die frisch in Wasser von 90° abgebrüht und in Eosin-Wasser gestellt wurden, der eine, ohne Klemme, nach 20 Stunden einen Aufstieg von 1,5 m, der andere, der in 1,15 m Höhe mit einer queren, 8 mm breiten Klemme versehen worden war, nur einen Aufstieg von 30 cm. Einen Tag später hatte in dem ungeklemmten Stengel der Farbstoff das obere Ende, die 3 letzten Centimeter ausgenommen, die zurückgetrocknet waren,

erreicht; in dem geklemmten reichte der Farbstoff nur bis an die geklemmte Stelle, über derselben war er hart und brüchig. Dieses Zurücktrocknen bis zur Klemme war hier erfolgt, noch bevor der Farbstoff dieselbe erreichte. Bei weniger stark angezogenen Klemmen ging die Farbstofflösung um so leichter durch, je tiefer sie angebracht wurden. Eine vollständige Unterbrechung durch Klemmen in den unteren Theilen eines Stengels war aber eben so schwer an den gebrühten wie an frischen Stengeln zu erzielen und verlangte einen sehr bedeutenden Druck.

Auch Kupfervitriol stieg in den mit heissem Wasser getödteten Cobaea-Stengeln gut auf. Zwei Stengel, der eine 1,8 m, der andere 1,35 m lang, in 5 % Kupfervitriollösung gestellt, zeigten sich am nächsten Tage imprägnirt bis oben, dann trockneten sie langsam, aus nicht näher festgestellten Gründen, bis zum Niveau der Flüssigkeit zurück. — In 1 % Silbernitratlösung zeigten sich solche Stengel ebenfalls rasch bis oben imprägnirt und blieben bis oben gequollen. Im Chlorwasser verhielten sich die gebrühten Stengel auch ebenso wie frische. Das Chlorwasser bleichte sie 15 cm weit hinauf; ausserdem blieb der eine Stengel 55 cm, der andere 1,45 cm weit gequollen, darüber hinaus zeigte er sich trocken und brüchig. In beiden war dicht unter dem ausgetrockneten Theile eine gebleichte, stärker gequollene, ca. 3 cm lange Stelle zu bemerken. In verdünnter Schwefelsäure ($^1/_3$ Schwefelsäure, $^2/_3$ Wasser) behielt der Stengel vier Tage lang sein gequollenes Aussehen. Er wurde zugleich weich und schlaff. In Wasser ansgekocht und unter der Wasserstrahlluftpumpe mit Wasser injicirt, leitete er hierauf dargebotenes Eosin-Wasser langsam aufwärts. Nach drei Tagen befand sich der Farbstoff in diesem 45 cm langen Stengelstücke in 38 cm Höhe; die 7 letzten Centimeter waren ausgetrocknet. In einem andern, ebenso langen und ebenso behandelten Stücke blieb zur gleichen Zeit ein nur 4 cm langes Ende ungefärbt; dasselbe war auch nicht trocken geworden. — In concentrirter Kalilauge quoll ein Stengelstück stark 20 cm hoch hinauf; unmittelbar darüber war es trocken und hart geworden. — Carbolsäure gelangte in 1,5 m langen Stengelstücken bis oben. — Pikrinsäure stieg, wie in frischen Stengeln, sehr gut.

Verschiedene durch Brühen getödtete Stengelstücke, die in Quecksilber gestellt wurden, sogen dasselbe nur in vereinzelte Gefässe, in diesen aber, unter Umständen, zu nicht

unbedeutender Höhe auf. Ein Stengelstück von Cyclanthera, 20 cm lang, 18 mm tief in Quecksilber tauchend, hatte beispielsweise in einem Gefäss Quecksilber bis zu 13 cm Höhe aufzuweisen. In diesem Gefäss hatte sich somit die durch Verdunstung entstandene Luftverdünnung von oben nicht ausgleichen können. In einem andern, 90 cm langen Stücke war das Quecksilber in einem Gefäss sogar 30 cm hoch zu verfolgen. In 2 m lange Stammstücke von Vitis wurde in 24 Stunden kein Quecksilber eingesogen, und zwar weil sich über dem Quecksilber eine mehrere Centimeter hohe Wasserschicht befand; als diese entfernt wurde, stieg in einer Anzahl von Gefässen das Quecksilber empor und zwar in einzelnen sogar in 20 Stunden bis 15 cm hoch. — Ich habe diese Versuche mit Quecksilber hier angefügt, weil sie zeigen, dass auch in Abschnitten der tracheïdalen Bahnen getödteter Pflanzentheile negative Gasspannungen sich einstellen können. Dass es sich aber bei dem Einsaugen von Quecksilber um andere Erscheinungen als bei dem Aufsteigen der Farbstofflösungen handelt, geht schon aus dem Umstande hervor, dass dieses Einsaugen, wenn es übertags erfolgt, auf nur einzelne Gefässe beschränkt zu bleiben pflegt. Mit den Erscheinungen, welche das Zustandekommen einer negativen Luftspannung in einzelnen Abschnitten der trachealen Bahnen bedingen, und mit der Rolle, welche diesen Erscheinungen bei der Saftbewegung zufällt, werden wir uns alsbald zu beschäftigen haben.

Die Leitungsfähigkeit nicht gequollener, mit Alcohol injicirter Stengeltheile.

Von theoretischer Bedeutung war es, festzustellen, ob auch in den durch Brühen getödteten, dann getrockneten Stengeltheilen Eosin-Alcohol steigen würde, wenn man dieselben statt mit Wasser, mit Alcohol injicirt. Solche lufttrockne Stengeltheile in Alcohol gesetzt, quellen ja in demselben nicht auf, und müssten somit, auch nach vollständiger Injection mit Alcohol, das Leitungsgeschäft im ungequollenen Zustande vollziehen. Zwar haben wir bereits constatirt, dass der Eosin-Alcohol auch in Stengeln stieg, die wir in Alcohol fixirt hatten und welchen der Eosin-Alcohol hierauf direct geboten wurde; doch von sol-

chen frisch in Alcohol gelegten und in demselben gehärteten Stengeln sind diejenigen, welche wir jetzt berücksichtigen wollen, dadurch wesentlich verschieden, dass sie nach erfolgtem Brühen durch Trocknen an der Luft stark geschrumpft waren. Das geschieht bekanntlich nicht, wenn ein frischer Pflanzentheil in Alcohol gelegt wird und in demselben erhärtet, so dass sich mit Sachs [1]) annehmen lässt, dass die Molecüle der Membranen hierbei dieselbe gegenseitige Lage wie im gequollenen Zustande behalten hätten und das intramoleculare Wasser durch den Alcohol ersetzt worden sei. Diejenigen Stengel somit, welche direct in Alcohol fixirt wurden, sind gewissermaassen mit gequollenen Membranen versehen, in welchen nur der Alcohol die Stelle des Wassers einnimmt. Damit konnte ja zusammenhängen, dass der Eosin-Alcohol in denselben so gut wie in frischen Stengeln aufstieg. Dieselbe Ursache des Aufsteigens für den Eosin-Alcohol konnte in denjenigen Stengeln gegeben sein, die nach dem Brühen und Austrocknen wieder aufgeweicht und mit Wasser injicirt worden waren. Kurzum die gebrühten und getrockneten, geschrumpft in den Alcohol gesetzten und dort geschrumpft gebliebenen Stengeltheile stellten ganz besondere Bedingungen für das Experiment dar. Dabei war es klar, dass diesen Stengeln nur Eosin-Alcohol, nicht etwa Eosin-Wasser geboten werden durfte, da letzteres, bei etwaigem Aufsteigen, zugleich Quellung verursachen musste. — Die luftrocknen geschrumpften Stengel wurden in Röhren mit absolutem Alcohol eingeführt, da Alcohol von einigem Wassergehalt bereits schwache Quellungen veranlassen konnte. Sie bleiben ca. 14 Tage zunächst in dem Alcohol stehen, damit dieser möglichst in das Gewebe eindringe und die Luft aus demselben verdränge oder sie absorbire. Dann wurde noch die Luft aus dem Rohr mit der Wasserstrahlluftpumpe ausgesogen, was äusserst vorsichtig und bei Einschaltung eines grösseren leeren Recipienten zwischen Rohr und Wasserstrahlluftpumpe, um jedes zufällige Einsaugen des Wassers in das Rohr zu verhindern, geschehen musste.

In einem solchen völlig geschrumpften, hart und brüchig gebliebenen, mit Alcohol injicirten Stengel stieg nunmehr der Eosin-Alcohol ganz ebenso vollkommen, wie in einem frischen

---

1) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, p. 306.

oder einem solchen, der mit Wasser wieder aufgeweicht und injicirt wurde. Es kommt somit bei Herstellung der Steigbedingungen für Flüssigkeiten in dem capillaren System der Pflanze nicht darauf an, dass deren Membranen sich im gequollenen Zustande befinden, dieselben müssen nur mit einer Flüssigkeit benetzt sein, die der aufsteigenden gleich ist oder in die sie diffundiren kann.

Der erste Versuch wurde mit zwei je 2 m langen Stengelstücken von Bryonia dioica ausgeführt. Das eine wurde frei, das andere im Inneren eines relativ engen Verbrennungsrohres aufgehängt, beide mit ihrem unteren Ende in Eosin-Alcohol, und zwar eine Lösung von Eosin in absolutem Alcohol, getaucht. Innerhalb des im Rohre befindlichen Stengelstückes stieg der Eosin-Alcohol kaum, in dem frei aufgehängten hatte er in 6 Stunden den Gipfel erreicht. Nunmehr wurde auch das im Rohr befindliche Stengelstück herausgenommen und frei aufgehängt, es färbte sich in 8 Stunden, die letzten 15 cm, welche zurücktrockneten, ausgenommen, bis oben. Das Aufsteigen des Farbstoffes war von aussen zu verfolgen, da auch hier von den Gefässtheilen aus eine Durchfärbung des ganzen Gewebes erfolgte. Der Farbstoff eilte aber in den Gefässtheilen voraus, stellenweise auch in engen Rissen, welche sich zwischen einzelnen Geweben ausgebildet hatten. Die beiden Stengel blieben bis zuletzt ebenso geschrumpft, hart und brüchig, wie zuvor. — Der Versuch wurde hierauf mit einem 3 m langen Bryoniastengel wiederholt. In 7 Stunden hatte der Farbstoff 2 m Höhe erreicht, nach 24 Stunden reichte die Färbung 2,6 m herauf, weiter stieg der Farbstoff nicht, vielmehr war der Stengel bis an die betreffende Stelle zurück getrocknet. — Die mikroskopische Untersuchung von Quer- und Längsschnitten an solchen Stengeln nach der Färbung lehrte, dass nicht allein der Inhalt der Elemente in den durchfärbten Theilen, sondern auch die Substanz der Wände Farbstoff aufgenommen hatten. Doch war die Färbung der Membranen wesentlich schwächer als in frischen oder in Wasser aufgeweichten Stengeln, welche Eosin-Alcohol aufnahmen. Die Intensität der Wandfärbung nahm augenblicklich zu, wenn ein Wassertropfen dem Präparat hinzugefügt wurde.

Das Aufsteigen von Flüssigkeiten in verkohlten Pflanzentheilen.

In verkohlten, mit Wasser injicirten Pflanzentheilen steigen die entsprechenden Flüssigkeiten höher als in trockenen Kohlenstücken. Doch wirken hierbei verschiedene Ursachen zusammen, die Porosität der Kohle und, soweit erhalten, auch die Organisation ihrer Leitungsbahnen.

Wurden kunstgerecht verkohlte Pflanzentheile, Aststücke von Rothbuchen und Fichten, wie ich sie hier aus Kohlenmeilern erhalten konnte, trocken in Eosin-Wasser gestellt, so konnte letzteres in 48 Stunden etwa 26 cm in denselben aufsteigen. Das war bei weitem mehr als in trockenen unverkohlten Aststücken. Noch höher stieg in derselben Zeit Eosin-Alcohol. In 45 cm langen Aststücken hatte er alsdann vielfach den oberen Querschnitt erreicht. Der Alcohol verdrängte mit solcher Gewalt die Luft aus der Kohle, dass fortdauernde Sprengungen im Innern derselben stattfanden, die durch lautes Knistern sich bemerkbar machten. Unter Umständen wurde das ganze Kohlenstück unter stärkerem Knall zersprengt oder es flog auch wohl der obere Theil eines Kohlenstückes ganz ab und nebenan zur Erde. Eben diese Erscheinungen lehren, dass es sich hierbei nicht um denselben Vorgang handelt, wie bei normalem Aufstieg innerhalb der Leitungsbahnen; dass die Flüssigkeit vielmehr in die Kohle wie in einen fein porösen Körper, etwa in ein Stück Gyps, eindringt, aus welchem sie ebenfalls vermag, die Luft zu verdrängen mit Ueberwindung hoher Druckkräfte. Die mikroskopische Untersuchung gestattete es auch, sicherzustellen, dass Wasser wie Alcohol in den Buchenaststücken nicht allein die trachealen Bahnen, sondern die gesammte porös gewordene Gewebsmasse zum Aufsteigen benutzt hatten.

Der rascheste Aufstieg, den ich für Alcohol in einem verkohlten Buchenaste beobachtete, war 33 cm in 36 Stunden. Noch schneller stieg aber Terpentin. In 40 cm langen Buchenkohlenstücken fand ich es einmal in 36 Stunden, ein anderes Mal in 24 Stunden oben; ja in einem Aststücke von 25 cm Länge hatte das Terpentin sogar schon in 3 Stunden die obere Fläche erreicht.

Zwei je 24 cm hohe verkohlte Buchenaststücke, die trocken

das Wasser-Eosin in drei Tagen nur bis etwa je 16 cm Höhe gehoben hatten, wurden hierauf beschwert in Wasser gelegt, nach tagelangem Liegen in demselben unter Wasser mit der Wasserstrahlluftpumpe injicirt und von neuem in Eosin-Wasser gestellt. Der Farbstoff erreichte jetzt in 24 Stunden die obere Fläche des einen und einige Stunden später auch diejenige des anderen Stückes. Dieses Resultat wurde hier, wie bei anderen ähnlichen Versuchen, durch Auftupfen von Fliesspapier auf diese obere Fläche sichergestellt.

Versuche, geeignete Kohlenstücke grösserer Länge für weitere Versuche selbst herzustellen, stiessen auf bedeutende Schwierigkeiten. Noch schwerer wurde es, bereits verkohlte Pflanzentheile unversehrt mit Wasser zu durchtränken. Herr Dr. Noll hatte die Güte, sich all der Mühe, welche diese Manipulationen erheischten, zu unterziehen. Was er schliesslich erlangen konnte, waren übrigens Stücke von nicht über 1 m Länge. Am geeignetsten zu solcher Verkohlung und Injicirung erwiesen sich Luftwurzeln von Philodendron grandifolium, die auch in hinlänglicher Anzahl zur Verfügung standen. Die Luftwurzel wurde zunächst in heissem Wasser getödtet, getrocknet, die Rinde von derselben, so weit als sie sich leicht entfernen liess, abgeschält und dann erst zur Verkohlung des annähernd auf den Centralcylinder beschränkten Stückes geschritten. Vor der Einführung in das Verbrennungsrohr wurde dieses Wurzelstück durch kleine, aus feinem Drahtnetz geschnittene, in der Mitte durchlöcherte Scheiben gezogen, die, gleichmässig vertheilt, es schwebend und verschiebbar im Verbrennungsrohr erhielten. Die Verkohlung geschah in einem Strom von Kohlensäure, mit offener Gasflamme, die sich besser als ein Verbrennungsofen bewährte. Einer gleichmässigen Wärmevertheilung wegen, wurde das Verbrennungsrohr mit Drahtnetz umgeben, mit der Gasflamme längs desselben bis zur vollen Ausdörrung des Stückes gefahren und dann, von einem Ende aus fortschreitend, die Verkohlung vorgenommen. Die Operation hörte mit dem Augenblicke auf, wo keine Wasserdämpfe und bräunlichen Destillationsproducte mehr aus dem Wurzelstücke entwichen. Trotz der leicht verschiebbaren Drahtscheibchen, die dem Wurzelstücke die Ausführung der mit der Verkohlung verbundenen Contractionen erleichterten, zersprang das Object oft mittendurch und vereitelte so den Versuch. Dasselbe trat noch häufiger bei

der nächstfolgenden Operation ein, die darin bestand, die Kohle mit Wasser zu injiciren. Direct in Wasser eingeführt, zersprang die Kohle stets, daher zu dem Mittel geschritten wurde, Wasserdampf längere Zeit in das erwärmte Rohr einzuleiten. Diese Operation gelang einige Male, so auch das intacte Herausbringen der Kohle aus dem zuvor senkrecht aufgestellten Rohr. Stücke über 1 m Länge haben wir freilich nicht erhalten können. Von in gleicher Weise hergestellter Kohle aus Cobaea-Stengel maass das längste Stück nur 52 cm. Möglich, dass es gelingen würde, fehlerfreie und doch zugleich längere Kohlenstücke in Kohlenmeilern, bei entsprechender Auswahl des Materials zu erlangen. Versuche, derartige Kohlenstücke in den Retorten der hiesigen Gasfabrik herzustellen, schlugen fehl.

In dem längsten Stücke mit Wasser injicirter Cobaea-Kohle, die zur Verfügung stand, erreichte das Eosin-Wasser in 12 Stunden das obere Ende und stieg ausserdem noch etwa 3 cm höher in dem Bindfaden auf, an welchem dieses Kohlenstück aufgehängt war. Zwei andere injicirte Cobaeastengel-Kohlen, von 50 und von 42 cm Länge, führten ebenfalls den Farbstoff in 12 Stunden bis oben herauf. Dass diese Kohlenstücke hierbei ebenso hart und brüchig wie zuvor blieben, braucht nicht erst hervorgehoben zu werden. Die mikroskopische Untersuchung nach Möglichkeit hergestellter Längsschnitte aus dem 42 cm langen Stücke zeigte die Gefässe mit Farbstofflösung erfüllt. Es galt das aber nicht für alle Gefässe, vielmehr nur solche bis zu 0,075 mm Durchmesser. Die capillare Steighöhe würde für Glascapillaren dieser Weite auch ca. 45 cm betragen haben. In verkohlten, nicht injicirten Cobaea-Stengeln stieg das Wasser-Eosin bei wiederholten Versuchen nicht über 12 cm. In der längsten verkohlten und injicirten Wurzel von Philodendron grandifolium, die mir zur Verfügung stand, und die verkohlt 96 cm maass, war der Farbstoff bis 3 cm vom Gipfel angelangt, die 3 letzten Centimeter trockneten zuvor zurück und blieben ungefärbt. In einem anderen, 94 cm langen injicirten Stücke gelangte der Farbstoff bis oben. In trockenen Stücken der Kohle aus der Luftwurzel von Philodendron grandifolium stieg das wässrige Eosin nur etwa 15 cm, vielleicht etwas mehr. — Die mikroskopische Untersuchung zeigte die verkohlten Gewebe des Cobaea-Stengels, wie auch der Philodendron-Wurzel sehr gut erhalten, was jedenfalls mit dem

äusserst vorsichtigen Verfahren bei der Verkohlung zusammenhing. Namentlich in der Philodendron-Wurzel hatte die Structur der Elemente kaum gelitten, während im Cobaea-Stengel vielfach die Schliesshäute der Hoftüpfel zwischen den Gefässen verschwunden waren. Beim Aufstieg hatten hier entschieden die capillaren Eigenschaften der trachealen Bahnen mitgewirkt und war die Imbibition der Wände dieser Capillaren mit zur Geltung gekommen. So gering also auch meine, an verkohlten Pflanzentheilen gesammelten Erfahrungen sind, so dürfte bereits aus denselben hervorgehen, dass beim Aufstieg der Flüssigkeit in einer Kohle zwei Eigenschaften derselben zusammenwirken können, ihre Porosität und das tracheale System ihrer Wasserbahnen. Das letztere dürfte freilich wohl nur in Kohlen mit besonders gut erhaltener Structur mit in die Erscheinung eingreifen.

Versuche mit verkohlten Pflanzentheilen sind in obiger Weise noch nicht ausgeführt worden, wohl aber stellte man fest, dass an ihrer Basis verkohlte Zweige mit so veränderter Basis ihren Wasserbedarf zunächst decken konnten. C. A. Weber[1]) verkohlte über einer kleinen Gasflamme das untere entrindete Ende von Zweigen 2 bis 3 cm lang und fand, dass, wenn er die Schnittfläche innerhalb der verkohlten Partie erneuerte, die Wasseraufnahme durch den Querschnitt sogar stärker als bei Vergleichszweigen war. Letzteres Verhalten erklärt sich, wie ich meine, daraus, dass die Kohle als poröser Körper wirkt und das Wasser mit Kraft aufsaugt, während die an der Luft geschnittenen Vergleichszweige jedenfalls Mühe hatten, ihren Wasserbedarf durch die mit Luft verstopften Gefässe zu decken. Wurde die Schnittfläche an der verkohlten Zweigbasis nicht erneuert, so gingen die Versuchszweige meist rasch zu Grunde, weil nicht allein, wie Weber angiebt, die wasserleitenden Elemente, sondern auch alle sonstigen Poren der verkohlten Masse durch theerartige Producte verstopft sein mussten.

Der Inhalt der trachealen Bahnen.

Von den ältesten Zeiten her hat der „Luftgehalt“ der Gefässe die Forschung über den Transpirationsstrom der Pflanzen

1) Ueber den Einfluss höherer Temperaturen auf die Fähigkeit des Holzes den Transpirationsstrom zu leiten, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesell. 1885, p. 345.

aus den richtigen Bahnen gebracht. In besonders prägnanter Weise kommt dies zum Ausdruck in H. v. Mohl's „Vegetabilischer Zelle“. Er giebt zunächst selbst an, die Versuche von Rominger, die, wenn ihr Ergebniss constant wäre, als endgiltige Beweise für die Saftführung der Gefässe gelten könnten, wiederholt mit gleichem Resultate angestellt zu haben, wird aber an denselben irre, da es thatsächlich richtig sei, dass die Gefässe, specielle Ausnahmen abgerechnet, Luft führen [1]). Als solche Ausnahmen wird das Verhalten der Holzpflanzen, in der Zeit, welche im Frühjahr der Entfaltung der Blätter vorausgeht, angeführt. Während des Winters sei ein Theil von den Zellen des Holzes mit Saft, das Gefässsystem dagegen mit Luft gefüllt. Bei der steigenden Temperatur des Frühjahrs sollen sich dann die Zellen allmählich immer mehr und mehr mit Saft füllen und dieser später auch in die Gefässe treten. Dann fliesse der Saft bei Verwundungen des Holzes in Menge aus, was nicht der Fall sei, solange sich derselbe nur in den Zellen befindet; später, wenn nach der Entfaltung der Blätter die Ausdunstung der Pflanzen sehr gesteigert wird, entleere sich das Holz wieder theilweise von Saft, und namentlich trete in die Gefässe wieder Luft ein.

Gegen den „Luftgehalt“ der Gefässe, der annähernd allgemein angenommen war, trat Boehm zuerst entschieden auf [2]), dann im Besonderen Scheit [3]), während anderseits Schwendener [4]) wieder zu dem Ergebnis gelangte, „dass die todten Elemente des Holzkörpers“, von der Periode grösster Saftfülle abgesehen, neben Wasser auch Luft enthalten.

Von einem bestimmten Fehler sind aber im Allgemeinen die auf den Inhalt der trachealen Bahnen gerichteten Untersuchungen dadurch nicht frei geblieben, dass sie den Ort nicht hinlänglich beachteten, an welchem die Beobachtung angestellt

1) l. c. p. 73, 74.

2) Vornehmlich in dem Aufsatze: Ueber die Function der vegetabilischen Gefässe, Bot. Ztg. 1879, Sp. 225.

3) Die Wasserbewegung im Holze, Bot. Ztg. 1884, Sp. 182, und Beantwortung der Frage nach dem Luftgehalt des wasserleitenden Holzes, Jen. Zeitschr. f. Naturwiss. Bd. XVIII, N. F. Bd. XI.

4) Untersuchungen über das Saftsteigen, Stzber. der Akad. d. Wiss. zu Berlin, math.-phys. Cl., 1886, Bd. XXXIV, p. 566.

wurde. Zunächst wissen wir bereits, dass es nur die allerjüngsten Holzschichten sind, in welchen ein ergiebiger Wasseraufstieg erfolgt. Dann geht aus unserer Untersuchung auch hervor, dass, wo weite und enge tracheale Elemente im Holzkörper vertreten sind, vornehmlich nur letztere der Aufwärtsleitung des Wassers dienen, erstere mehr als Wasserbehälter fungiren. In einem Aststücke von Wistaria sinensis, das man in Eosin-Wasser stellt, ist bald der Farbstoff oben, ungeachtet man alle weiteren Gefässe mit Luft erfüllt wird finden können. Im vorjährigen Holze einer Robinia leiten regelmässig nur noch die engen Gefässgruppen des Spätholzes, während die weiten Gefässe Luft führen.

Directe Versuche mit getödteten Pflanzen haben uns gelehrt, dass dieselben auch im imbibirten Zustande ihrer Zellwände leitungsunfähig sind, und diese Leitungsfähigkeit erst erlangen, wenn die Lumina der trachealen Bahnen mit Wasser angefüllt werden.

Letzteres muss selbstverständlich auch für die lebende Pflanze gelten, und es frägt sich nun weiter, wie die an lebenden Pflanzen gesammelten Erfahrungen mit den Ergebnissen der angestellten Experimente in Einklang zu bringen sind.

Da tritt uns denn zunächst sofort eine bekannte Erscheinung an der lebenden Pflanze entgegen, die sich durchaus mit den Anforderungen unserer Versuche deckt. An der Luft abgeschnittene Sprosse, welche somit Luft haben einsaugen können, welken in vielen Fällen bald, auch wenn man sie in Wasser setzt, während unter Wasser abgeschnittene Sprosse sich, in Wasser gestellt, gleichzeitig frisch erhalten. Die in die trachealen Bahnen eingesogene Luft hemmt somit den Wasseraufstieg.

Um mir ein eigenes Urtheil über dieses Verhalten zu bilden, habe ich es bei einigen Pflanzen weiter verfolgt.

Zunächst suchte ich bei Bryonia festzustellen, wie lange abgeschnittene Sprosse mit offenem Querschnitt an der Luft liegen bleiben könnten, ohne ihre Leitungsfähigkeit für Wasser einzubüssen. Am 27. Juli um 7 Uhr Morgens, bei 15° C, wurden im Ganzen 6, annähernd je 4 m lange Sprosse über dem Boden abgeschnitten und frei aufgehängt. Da es zuvor fast 24 Stunden lang geregnet hatte, so konnten die abgeschnittenen Pflanzen nicht an Wassermangel leiden. Der Versuchstag selbst blieb trocken und warm. Zwei Pflanzen wurden nach einer halben Stunde, zwei

andere nach einer Stunde, die zwei letzten nach anderthalb Stunden in Eosin-Wasser gestellt. Die Untersuchung nahm ich um 4 Uhr Nachmittags vcr. In den beiden ersten Pflanzen war der Farbstoff 2,5 m, beziehungsweise 3 m gestiegen, in den beiden folgenden und in den beiden letzten Pflanzen überhaupt nicht. Dabei waren aber auch diese Pflanzen, die keinen Farbstoff aufgenommen hatten, noch kaum welk. — Ein anderer, Tags darauf um $6^1/_2$ Uhr Morgens geschnittener, eine Stunde später in Eosin-Wasser eingesetzter Spross nahm ebenfalls keinen Farbstoff auf. Um 4 Uhr Nachmittags war er bei der Untersuchung noch turgescent. Als ich den Spross in 1 m Höhe quer durchschnitt und dann unterhalb der Schnittfläche zusammendrückte, traten zahlreiche Luftblasen aus den Gefässen hervor. Auch ein 2 Stunden nach dem Durchschneiden am nämlichen Tage in Eosin-Wasser gesetzter Spross nahm keinen Farbstoff auf. Dieser Spross, in ein Meter Höhe untersucht, zeigte, wie der vorhergehende, Luft in den trachealen Bahnen. Am 10. Juni waren bei kühlem Wetter und bedecktem Himmel um 8 Uhr Morgens zwölf Sprosse über dem Boden abgeschnitten, drei davon innerhalb des Zeitraumes einer Minute, drei nach 10, drei nach 20, drei nach 30 Minuten in Eosin-Wasser gesetzt. Die drei ersten Pflanzen nahmen, trotzdem sie beim Durchschneiden gewisse Luftmengen hatten einsaugen müssen, doch sämmtlich Farbstoff auf. Zwei derselben zeigten sich um 4 Uhr Nachmittags gefärbt bis zum Gipfel, eine nur bis zur halben Höhe. Bei den neun anderen Pflanzen war das Ergebniss verschieden, so zwar, dass eine von den nach 10 Minuten und zwei von den nach 20 Minuten eingesetzten Pflanzen die Aufnahme der Farbstofflösung ganz versagten, während zwei der nach einer halben Stunde eingesetzten Pflanzen sich färbten. In keiner der gefärbten Pflanzen hatte um 4 Uhr Nachmittags der Farbstoff den Gipfel erreicht; die Höhe des Aufstiegs war ausserdem verschieden, ohne bestimmte Beziehung zu der Reihenfolge, in welcher den betreffenden Pflanzen die Farbstofflösung geboten worden war. Eine Störung hatte hier somit auch die Leitungsfähigkeit derjenigen Pflanzen erlitten, welche Farbstoff aufnahmen; die Schwankungen in der Höhe des Aufstiegs waren aber sicher im Einzelfall durch den verschiedenen Wassergehalt der Leitungsbahnen vor Beginn des Versuches bedingt. Dass schon das Abschneiden in der Luft an sich die Leitung störte, zeigte auch eine der sofort eingesetzten

Pflanzen, die nach 8 Stunden nicht bis oben durchfärbt war, während normaler Weise der Farbstoff in einer halben Stunde den Scheitel erreicht haben sollte. Einige derjenigen Pflanzen, die überhaupt keinen Farbstoff aufgenommen hatten, zeigten um 4 Uhr Nachmittags beginnendes Welken.

Diese Ergebnisse an Bryonia lassen sich somit unmittelbar an die Erfahrungen von Sachs und von de Vries [1]) anschliessen, denen zufolge an der Luft durchschnittene Sprosse, in Wasser eingestellt, vielfach welken. Dass dieses von einem Einsaugen von Luft in die Gefässe im Augenblick der Durchschneidung herrühre, geht eigentlich auch schon aus den Versuchen von de Vries hervor. So fand bereits de Vries, dass, wenn die Pflanzen von Helianthus tuberosus, mit denen er experimentirte, vor dem Durchschneiden längere Zeit in Wasser tauchten und volle Turgescenz in demselben annahmen, die Durchschneidung an der Luft weniger nachtheilige Folgen für sie zunächst hatte. Kam die Schnittfläche der Pflanze gleich nach der Durchschneidung mit dem Wasser in Berührung, so welkten die Blätter nicht. Andererseits wurde auch schon von de Vries festgestellt, dass ein Zurückschneiden unter Wasser 5—6 cm über der ersten Schnittfläche hinreiche, um selbst schon welken Sprossen die Turgescenz wiederzugeben [2]). Je länger andererseits der Spross mit freier Schnittfläche an der Luft verweilte, um so mehr hatte seine Leitungsfähigkeit für Wasser gelitten, um so weniger vermochte ihn das Wiedereinsetzen in Wasser vor raschem Welken zu schützen.

Meine eigenen Versuche setzte ich in einer von den erst geschilderten etwas abweichenden Weise fort. Ich schnitt die Zweige womöglich unter Wasser ab und liess sie dann eine halbe Stunde lang in einem dunklen, feuchten Raume, in welchem die Transpiration sehr schwach sein musste, in Wasser stehen. Zweige, bei denen es nicht möglich war, sie unter Wasser von ihrem Mutterstamme zu trennen, sowie grössere Stammtheile wurden sofort in Wasser gesetzt und dann ebenfalls, doch meist viel länger in dem dunklen Raume gelassen. Kleinere Zweige wie grössere Stammtheile mussten dort die Zeit gewonnen haben,

---

1) Ueber das Welken abgeschnittener Sprosse, Arb. des bot. Inst. zu Würzburg, Bd. I, p. 290.

2) l. c. p. 294.

die negativen Spannungen in ihren thätigen Wasserbahnen auszugleichen. Bei einem solchen Verfahren durfte ich annehmen, dass diejenigen Luftmengen, welche mir die directe Beobachtung in den Wasserbahnen vorführte, wirklich in denselben zuvor schon vorhanden waren und nicht erst während der Präparation durch Einsaugung in dieselben gelangten. Ganz fehlerfrei ist diese Untersuchungsmethode jedenfalls auch nicht, wohl aber fehlerfreier als diejenige, deren sich Schwendener bediente. Schwendener [1]) entnahm den zu untersuchenden Stämmen Bohrspäne mit dem Pressler'schen Zuwachsbohrer, und da er die Höhlung desselben mit Flüssigkeit anfüllte, so meinte er, diese nur hätte in den cylindrischen Bohrspan gelangen können. Er glaubte dies um so mehr annehmen zu können, als der Pressler'sche Zuwachsbohrer sich gegen sein Ende etwas verjüngt, so dass der herausgebohrte cylindrische Zapfen die kegelförmige Höhlung nur zunächst der Schneide vollständig ausfüllt. In der That musste auf diese Weise der cylindrische Zapfen alsbald von der im Innern des Bohrers befindlichen Flüssigkeit umgeben sein, doch blieb unberücksichtigt, dass die Schneide des Bohrers nicht allein die trachealen Bahnen, sondern bei Dicotylen zugleich auch andere luftführende Elemente, ausserdem die lufterfüllten Intercellularen des Holzparenchyms und der Markstrahlen, bei Coniferen mindestens die letzteren, öffnen musste, und dass auf diese Weise Luft in Gefässe und Tracheïden gelangen konnte. Namentlich wird dies stets in Gefässe geschehen sein, soweit negativer Druck in denselben herrschte, weniger in Tracheïden, da deren Hoftüpfel, wie wir weiter sehen werden, der Luft den Eintritt verwehren. Schwendener giebt aber auch nicht an, welche Stellen der Bohrspäne es im Besonderen waren, in welchen er einen bestimmten Luftgehalt constatirte, und wie sich die einzelnen Partien desselben Bohrspans in ihrem Luftgehalt zu einander verhielten. Da dies alles unberücksichtigt blieb, so lassen sich die Schwendener'schen Angaben nicht wohl in einem bestimmten Sinne verwerthen.

Um den Luftgehalt der trachealen Bahnen in den entsprechend vorbereiteten Pflanzentheilen festzustellen, schnitt ich aus denselben, etwa in halber Länge, zunächst ein etwa 10 cm langes Stück unter Wasser heraus und spaltete es dort

---

1) l. c. p. 564.

auch gleich median. Dann wurde die eine Hälfte mit der Spaltungsfläche nach oben, in horizontaler Lage aus dem Wasser gehoben und mit Olivenöl, unter Umständen auch mit Glycerin, oder mit einem Gemisch von Glycerin und arabischem Gummi übergossen. Glycerin, wesentlich aber Gummiglycerin, erwiesen sich in den meisten Fällen schon ausreichend, da sie die Luft nur äusserst langsam aus den tracheïdalen Bahnen verdrängen. Ihre Benutzung ist aber wesentlich angenehmer als diejenige des Olivenöls. Nur möglichst unversehrte Gefässe und völlig unversehrte Tracheïden wurden in Betracht gezogen; der relativ weit grösseren Sicherheit der Ergebnisse bei den nur aus Tracheïden aufgebauten Coniferen wegen, wurden letztere ganz vorwiegend zur Untersuchung herangezogen.

Ein 3 cm dicker Fichtenzweig, der am 3. Juli, um 9 Uhr Morgens, unter Wasser abgeschnitten worden war und dem ich Präparate in der angegebenen Weise, 0,5 m höher, um 10 Uhr Morgens, entnahm, zeigte fast gar keine Luftblasen in dem diesjährigen Jahresringe, Luftblasen im Spätholze des vorhergehenden und aller älteren Jahresringe, Luftblasen innerhalb der Frühtracheïden, aber erst in erheblicherer Anzahl von dem vierten Jahresringe, von aussen gerechnet, an. In denjenigen Jahresringen, welche nur Wasser in den Frühtracheïden, Luftblasen in den Spättracheïden führten, vermittelten die Folgetracheïden die beiden Extreme; sie wurden um so luftreicher, je mehr sie sich den engen Spättracheïden näherten.

Bei einer Schwarzkiefer, Pinus Salzmanni (Form von Pinus Laricio), zeigte ein kräftiger Zweig am nämlichen Tage und bei gleicher Behandlung Luftblasen in einem Theile der Spättracheïden vom vorjährigen Holze an, während die Frühtracheïden überhaupt nur vereinzelte Luftblasen in dem ganzen, im sechsten Jahre stehenden Zweige aufzuweisen hatten. Die tracheïdalen Elemente der Markstrahlen führten Wasser bis in den innersten Jahresring hinein, wie sie denn überhaupt ihr Wasser sehr lange behalten.

Ein vierjähriger Lärchenzweig hatte am gleichen Tage Luftblasen nur sehr spärlich in den beiden letzten Jahresringen aufzuweisen. Sie traten zahlreicher in den beiden nächst inneren Jahresringen auf, ohne das Spätholz wesentlich zu bevorzugen.

Ein zwei Tage später, um 8 Uhr Morgens, unter Wasser abgeschnittener und nach halbstündigem Stehen in Wasser

untersuchter achtjähriger Zweig der Edeltanne zeigte, seiner Oberseite entsprechend, Luft fast nur in den Tracheïden des innersten Jahresringes. An seiner Unterseite führte er in den engen, stark verdickten, braunwandigen Tracheïden, welche dort den bei weitem grössten Theil des Holzes bildeten, ziemlich viel Luft, und zwar in steigender Progression nach dem Marke. Nur der diesjährige Jahresring war annähernd frei von Luft. In diesem Jahresring hatte die Bildung der engeren Spättracheïden eben begonnen; die diesjährigen Triebe waren auch schon vollständig ausgewachsen, wenn auch noch in hellerem Grün als die älteren Sprosstheile gefärbt.

Ein am 1. Juli, um 10 Uhr Morgens, unter Wasser geschnittener 1,5 cm dicker, zehnjähriger Zweig von Tsuga canadensis hatte keine Luft in den Tracheïden des diesjährigen Holzes, nur wenig Luftblasen in dem vorjährigen, dann aber Luft in steigender Menge nach dem Marke zu aufzuweisen, so zwar, dass der dritte Jahresring, von aussen gerechnet, schon als relativ luftreich, der fünfte schon als sehr luftreich zu bezeichnen war. Die Bildung verdickter Spättracheïden hatte in diesem Zweige auch schon begonnen, demgemäss war die Ausbildung der diesjährigen Triebe auch ganz vollendet. Der lebendige Inhalt der Markstrahlen hörte in diesem Zweige mit dem neunten Jahresringe, von aussen gerechnet, auf. Auch das Mark dieses Zweiges war bereits todt.

Ein am 1. Februar, nach anhaltendem Thauwetter, gefällter Pinus Strobus führte kaum Luftblasen im letzten Jahresringe; solche aber in wachsender Zahl nach innen zu. Eine Bevorzugung des Frühholzes im Wassergehalt war nicht nachzuweisen. Der siebente Jahresring von aussen war schon sehr luftreich. Die tracheïdalen Elemente der Markstrahlen zeichneten sich auch in diesem Falle durch die Zähigkeit aus, mit welcher sie ihr Wasser festhielten. Nur ganz vereinzelte Elemente derselben zeigten sich mit Luft erfüllt.

Eine zu gleicher Zeit gefällte Lärche verhielt sich nicht anders.

Am 20. December, nach mehr als 14-tägiger, zwischen 0 und — 6° C schwankender Kälte, wurde ein völlig hart gefrorener, 3 cm dicker Tsuga - Stamm abgeschnitten, in einem Zimmer, dessen Temperatur + 6° C betrug, im Wasser so lange stehen gelassen, bis er vollständig aufgethaut war, und hierauf unter-

sucht. Das Holz zeigte sich relativ luftreich; selbst zahlreiche Tracheïden des letzten Jahresringes führten Luftblasen.

Eine um die gleiche Zeit gefällte 50-jährige, 19 cm dicke Edeltanne war annähernd frei von Luftblasen in den Tracheïden des letzten Jahresringes. Nach innen zu nahm die Zahl und Grösse der Luftblasen allmählich zu, ohne wesentlichen Unterschied im Verhalten des Früh- und Spätholzes aufzuweisen. Der zwölfte Jahresring von aussen war bereits sehr luftreich.

Zu diesen Ergebnissen meiner Untersuchungen an Coniferen stimmt die Angabe von Russow [1]), dass auch zur Zeit lebhafter Transpiration die Tracheïden des Splintes der Abietineen grösstentheils mit Wasser erfüllt sind, und dass im Holzkörper der Wassergehalt nach innen zu sinkt, der Luftgehalt wächst.

Ein am 3. Juli um 10 Uhr Morgens geschnittener, im dritten Lebensjahre stehender Ast von Robinia zeigte die Elemente des diesjährigen Zuwachses fast luftfrei. Selbst die Holzfasern waren mit Saft erfüllt und vereinzelte Luftblasen wechselnder Grösse vorwiegend nur innerhalb der weiten Gefässe zu beobachten. Im vorjährigen Zuwachs war hingegen schon viel Luft vertreten, vor allem in sämmtlichen Holzfasern, ausserdem in den weiteren Gefässen; nur die engen Gefässgruppen des Spätholzes erschienen im Wesentlichen ohne Luft.

Einem an dem nämlichen Tage untersuchten Wistaria-Ast fehlte die Luft im Wesentlichen nur innerhalb des letzten Jahresringes, und auch in diesem waren Luftblasen in den grossen Gefässen nicht selten, nur vereinzelt traten sie in den engen Gefässen auf.

Der diesjährige und der vorjährige Zuwachs eines starken, am 7. Juli untersuchten Eichenastes zeigte in den Gefässen vereinzelte Luftblasen; in den die weiten Gefässe umgebenden, kurzen Tracheïden konnte ich keine Luft nachweisen. Hingegen führten die engen Fasertracheïden Luft. Das war selbst in dem diesjährigen Zuwachs, so weit als sie in demselben fertiggestellt waren, der Fall. Andererseits liessen sich wiederum nur vereinzelte Luftblasen in den die Gefässe verbindenden weiteren Tracheïden finden. In den nächst inneren Jahresringen nahm der Luftgehalt der Elemente rasch zu; die weiteren Tracheïden behielten

1) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 101.

am längsten ihren Wassergehalt. — Am 7. Juli, wo diese Untersuchung vorgenommen wurde, zeigte sich der neue Jahresring bis auf etwa zwei Drittel vollendet, und fand in demselben nur noch Bildung englumiger Elemente statt. Der vorliegende Ast hatte Johannistriebe nicht erzeugt.

Von besonderem Interesse musste es sein, unter Wasser abgeschnittene Zweige von Ficus, von Acacien und von Weiden auf den Luftgehalt ihrer Gefässe zu prüfen, da sich in diesen Gewächsen der ganze Wasseraufstieg innerhalb solcher, relativ nur wenig zahlreicher und auch verhältnissmässig weiter Gefässe vollzieht. Da war also das Umgehen einer Luftblase durch zeitweiligen Eintritt in eine angrenzende Bahn ausgeschlossen. Der Wasseraufstieg musste entweder durch die Luftblase sistirt werden, oder das Wasser seinen Weg zwischen der Luftblase und der Wand des Gefässes einschlagen. Eine dritte Möglichkeit erschien von dem Augenblick an ausgeschlossen, wo der Nachweis des Wassersteigens im Innern der trachealen Bahnen geliefert war. Zweige von Ficus elastica und von Ficus spuria, von mehreren Acacia-Arten und von Weiden, in entsprechender Weise untersucht, zeigten die thätigen Wasserbahnen nicht vollständig luftfrei, wohl aber im Verhältniss luftarm. Es lagen hier in den Gefässen eben nur Wasserbahnen, nicht, wie in vielen anderen Fällen, auch Wasserbehälter vor. Die einzige Art der vorhandenen Elemente der Wasserbahnen musste sich wie die engeren Elemente einer solchen Bahn bei vorhandener Arbeitstheilung verhalten. In Zweigen, die eine Zeitlang in Wasser gestanden hatten, war es oft schwer, Luftblasen in den peripherischen Gefässen ausfindig zu machen. In den inneren Theilen des Holzkörpers nahm dann, besonders bei der Weide, die Menge der vorhandenen Luftblasen zu.

Am 19. December habe ich nach anhaltendem Frost auch eine Anzahl hart gefrorener Zweige von Robinia, Eiche, Ahorn, Rothbuche abgeschnitten, in ungeheiztem Zimmer, bis zum Aufthauen, in Wasser gestellt und alsdann untersucht. Auch alle diese Zweige waren relativ luftreicher als die im Sommer untersuchten, was mit dem bei klarem Himmel lang anhaltenden Kahlfrost im Zusammenhang stand. Bei diesem musste ja die Verdunstung anhalten, während eine Wasserzufuhr ausgeschlossen war. — Im Gegensatz hierzu zeigen sich bei anhaltend nassem

Wetter im Winter die trachealen Bahnen besonders wasserreich, was ja den bekannten, meist bedeutenden Wassergehalt unserer Bäume im Winter bedingt.

Im Frühjahr vor und während beginnender Knospenentfaltung ist der Holzkörper unserer Bäume am wasserreichsten, und fand ich da auch in der That die wenigste Luft in den trachealen Bahnen vor. Eine blutende Weissbuche, sowie auch ein blutender Ahorn, die ich Mitte März untersuchte, hatten nur äusserst wenig Luft in den trachealen Bahnen ihres Holzkörpers aufzuweisen, und selbst auch die nichtleitenden Elemente desselben zeigten sich in den äusseren Jahresringen mit Wasser angefüllt. — So fehlte auch um diese Zeit die Luft fast vollständig in den trachealen Elementen des Weinstocks.

Aus denselben Pflanzentheilen, die ich auf Längsschnitten untersuchte, presste ich meist auch den Inhalt der trachealen Bahnen hervor, um ihn auf seinen Luftgehalt zu prüfen. Dieses geschah unter Wasser mit Hilfe einer flachen Drahtzange, während zugleich der Querschnitt mit einer starken Lupe betrachtet wurde. Die so gewonnenen Resultate, soweit sichergestellt, deckten sich stets mit den an Längsschnitten erhaltenen. Das Verfahren selbst ist zu dem gleichen Zwecke bereits von Tschaplowitz [1]) geübt worden. Mit Hilfe einer Quecksilberluftpumpe suchte derselbe auch den Luftgehalt seiner Versuchsobjecte zu bestimmen. Er gewann für 1 ccm Holz aus einem dreijährigen Schoss von Spiraea opulifolia 0,09 ccm, aus einem Zweige der Stieleiche 0,12 ccm, aus einem Zweige der Haselnuss 0,21 ccm. Da hierbei auf den Luftgehalt der nicht leitenden Elemente des Holzkörpers nicht Rücksicht genommen wurde, so haben diese Zahlen wenig Bedeutung.

Sehr wasserreich fand ich im Allgemeinen die primären Gefässtheile der untersuchten Wurzeln. Die Gefässe pflegten da nur in weiten Abständen einzelne Luftblasen aufzuweisen. Wie die Bodenwurzeln verhielten sich auch die Luftwurzeln. Demgemäss entweichen auch aus dem Centralcylinder einer Luftwurzel von Philodendron grandifolium nur sehr wenige Luftblasen, wenn man diese Luftwurzel durch die Wasserstrahlluft-

---

1) Beitrag zur Lehre von der Wasserbewegung in der Pflanze, Gartenwirth. Vers. d. Kgl. pomol. Versuchsst. Proskau, ref. Bot. Centralbl., Bd. XLI, 1890, p. 149.

pumpe unter Wasser injicirt. — Der secundäre Holzkörper einer Wurzel weist hingegen annähernd dieselben Verhältnisse wie derjenige des Stammes auf.

Alle meine Untersuchungen führten somit übereinstimmend zu dem Ergebniss, dass auch die thätigen Leitungsbahnen nicht frei von Luftblasen sind, und dass diese Luftblasen, innerhalb bestimmter, nicht zu überschreitender Grenzen, deren Verrichtung nicht aufheben. Der Luftgehalt der besonders für die Wasserleitung beanspruchten peripherischen Bahnen ist stets am geringsten. Er schwankt innerhalb der zulässigen Grenzen, wobei von besonders lufthaltigen Bahnen sicher angenommen werden kann, dass sie aus irgend welchem Grunde ausser Thätigkeit gesetzt sind. Bei heterogener Zusammensetzung der trachealen Bahnen fällt der grösste Luftgehalt den weiten Gefässen zu, die vielfach auch wohl nur als Wasserbehälter fungiren. Wo solche Gefässe als einzige Wasserbahn ausgebildet sind, wie bei Ficus, Acacien und Weiden, oder für die Leitung stark beansprucht werden, wie in den primären Wurzeltheilen, da ist auch ihr Luftgehalt stets nur gering. Dieser geringe Luftgehalt ist aber, wie wir weiter sehen werden, meist als ein nothwendiger Bestandtheil der trachealen Bahn, in der er sich neben Wasser findet, anzusehen.

Durch directe Versuche suchte ich weiter noch zu ermitteln, wie gross die Luftmenge annähernd ist, welche die Wasserbahnen verschiedener Holzgewächse aufnehmen können, ohne ihre Leitungsfähigkeit einzubüssen. Diese Versuche stellte ich in der zweiten Hälfte des Juni an. Es wurden Zweige der Robinie, Linde, Eiche, Rothbuche, von Vitis Labrusca, Ginkgo und Lärche unter Wasser abgeschnitten, eine halbe Stunde lang in Wasser gelassen, dann herausgenommen und bis zu beginnendem Welken frei an der Luft hingelegt. Durch fortgesetztes Probiren suchte ich die äusserste Grenze festzustellen, bis zu welcher die Erschlaffung eines bestimmten Astes getrieben werden dürfte, ohne demselben die Fähigkeit zu rauben, nach Einstellung in Wasser seinen Turgor zurückzuerlangen. Die Zeit, welche ein Zweig gebrauchte, um bis zu dieser bestimmten Grenze der Erschlaffung zu gelangen, war selbstverständlich je nach dessen Bau und je nach den gegebenen, das Welken beschleunigenden oder verzögernden Umständen verschieden. Am raschesten welkte Robinia und durfte auch bei trübem, feuchtem Wetter kaum länger als eine

Stunde ausser Wasser bleiben. Nach zwei Stunden waren meist die Sprosse von Vitis Labrusca in dem gleichen Stadium, nach 12—16 Stunden Ginkgo. Sehr lange, oft bis zu 24 Stunden, musste man bei der Eiche und Rothbuche warten, während zu gleicher Zeit bei der Lärche an den ausgewachsenen Nadeln noch keine Veränderung zu sehen war und nur die noch jungen Langtriebe ihre Enden zu senken begannen. Die Untersuchung aller erschlafften Zweige lehrte, dass in der That ihre Leitungsbahnen weit luftreicher wie zuvor geworden waren; sie hatten, die Nadelhölzer ausgenommen, erhebliche Mengen von Luft durch den Querschnitt eingesogen. Waren alle Leitungsbahnen mit Luft angefüllt, so gelang auch eine Wiederbelebung des Sprosses durch Einstellen in Wasser nicht mehr; anders, wenn die Luft nur bestimmte Leitungsbahnen füllte. Eingehendere Untersuchung ergab, dass es im Allgemeinen die weiteren Elemente der dicotylen Leitungsbahnen sind, die sich zunächst mit Luft füllen, während die engeren ihr Wasser behalten. In die tracheïdalen, mit Hoftüpfeln abgeschlossenen Elemente tritt überhaupt keine Luft ein, solange als der Hofraum noch Wasser führt. Die Luft dringt daher nur äusserst langsam in den Tracheïden vor, nur in dem Maasse, als vom Querschnitt aus die Hoftüpfel austrocknen. Auch jede Verengerung in einem Gefäss hält das Wasser energisch zurück und verhindert so längere Zeit hindurch die Luft am Vordringen. — Diese Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung bekräftigte ich noch durch directe Versuche. Zweige der Robinia, Eiche, Rothbuche und Linde einerseits, der Kiefer, Fichte, Tsuga, Lärche und Eiche andererseits, die unter Wasser abgeschnitten worden waren, setzte ich mit ihrem unteren, auf eine kurze Strecke hin von der Rinde befreiten Ende, luftdicht in 6 mm weite, 20 cm lange Glasröhren. Diese Glasröhren blieben mit Luft gefüllt und wurden in Gefässe, die 6,5 cm hoch Wasser führten, gestellt [1]). Während die dicotylen Hölzer, vor allem die Rothbuche, die Luft energisch einsogen und das Wasser alsbald so weit gehoben hatten, dass es den unteren Querschnitt erreichte, stieg

1) Einen ähnlich zusammengesetzten Versuch führte schon Hales mit dem Aste eines Apfelbaumes aus, um zu zeigen, dass Luft überhaupt „vom Pflantzwerck eingesogen und mit dem Safte durch die Blätter ausgedunstet wird". Statik der Gewächse, deutsch. Uebers. 1748, p. 90 und Tab. III, Fig. XI.

das Wasser in den mit Nadelholzzweigen verbundenen Röhren in 24 Stunden kaum um einige Centimenter, blieb somit noch erheblich hinter dem Niveau des das Rohr umgebenden Wassers zurück. Aus einer Versuchsreihe, zu welcher annähernd gleich starke Zweige dienten und die bei bedecktem Himmel, doch bei warmem Wetter, zwischen 24 und 26 ° C gewonnen wurde, führe ich hier die näheren Werthe an. Die Zweige kamen zwischen 10½ und 11½ Uhr in Wasser und zwar in der Reihenfolge: Linde, Eiche, Rothbuche, Lärche, Tsuga, Fichte, Eibe, Robinie. Um 3½ Uhr Nachmittags desselben Tages stand bei der Rothbuche das Wasser im Rohr 20 cm hoch, bei der Linde 15 cm, der Eiche 10 cm, der Robinie 4 cm, der Lärche 1,5 cm, der Fichte 0,5 cm, bei Tsuga und bei der Eibe war noch das ganze Rohr mit Luft erfüllt. Die Blätter der Eiche begannen zu welken, diejenigen der Robinia waren bereits ganz welk, ungeachtet dieselbe doch nur ganz geringe Mengen Luft durch den Querschnitt bis jetzt aufgenommen hatte. Um 6 Uhr Nachmittags desselben Tages hatten die Rothbuche und die Robinie das Wasser schon bis an den Querschnitt emporgehoben, die Linde 18 cm, die Eiche 15 cm, die Lärche 4 cm, Fichte und Eibe 1,5 cm, Tsuga 1 cm. Die Robinie war, trotzdem das Wasser den Querschnitt der Zweige erreicht hatte, welk geblieben; die Erschlaffung der Eiche hatte zugenommen. Um 8 Uhr Abends am nämlichen Tage war das Wasser bei sämmtlichen dicotylen Zweigen oben, bei der Lärche 6,5 cm, der Fichte 2,5 cm, bei der Eibe 2,5 cm, bei Tsuga 1,5 cm. Am nächsten Morgen um 8 Uhr erreichte das Wasser bei der Lärche 10 cm, bei der Fichte 5 cm, bei der Eibe 4 cm, bei Tsuga 3,5 cm. Robinia war ganz welk, die Eiche hatte hingegen ihre ganze Turgescenz zurückerlangt.

Das sehr geringfügige Eindringen von Luft durch den Querschnitt in das Holz der Coniferen bringt es mit sich, dass auch das mikroskopische Bild, welches der Holzkörper eines Coniferenzweiges, der an der Luft gelegen hat, bietet, ein anderes ist, als dasjenige eines entsprechenden dicotylen Zweiges. In dem dicotylen Holz sind die dem Querschnitt nächsten Partieen besonders luftreich geworden, während im Coniferenholz die Luftblasen in der ganzen Ausdehnung der Zweige annähernd gleichmässig zugenommen haben. Dabei dringt die meiste Luft erst bei Anfertigung der Schnitte ein, während in dem intacten

Zweige zunächst nur die vorhandenen Luftblasen sich ausdehnen.

Damit hängt dann auch weiter zusammen, dass Coniferenzweige auffallend lang mit freiem Querschnitt an der Luft liegen können, ohne die Fähigkeit einzubüssen, in Eosin-Wasser gestellt, dasselbe aufzunehmen. Ein Zweig von Pinus montana vermochte dies noch nach 48 Stunden; ein Zweig der Fichte zu gleicher Zeit nur in einem Theil seiner Bahnen, während ein Zweig von Larix die Aufnahme bereits versagte.

Den Weg, welchen der Wasserstrom in den mit Luft theilweise injicirten dicotylen Zweigen einschlägt, suchte ich ebenfalls direct mit Farbstofflösung zu bestimmen. Ich kürzte zu diesem Zwecke die Zweige zunächst um einen Centimeter, um die Theile zu entfernen, welche in directer Berührung mit der Luft gestanden hatten, und setzte sie in Eosin-Wasser ein. Die Resultate der Färbung entsprachen den früheren Befunden, die engen Bahnen dienten jetzt ganz vornehmlich der Aufwärtsleitung. Das war besonders auffallend bei der Eiche und bei den Leguminosen (bei Genista, Spartium, Caragana, Sophora, noch mehr als bei Robinia), aber nicht minder auch bei der Rothbuche, dem Ahorn und der Linde. Bei letzterer zeigten sich bevorzugt besonders die engen Tracheïdenreihen des Spätholzes.

Ob abgeschnittene, durch Liegen an der Luft schlaff gewordene Zweige, in Wasser gestellt, sich wieder erholen, hängt nicht allein von der Erhaltung einiger leitungsfähiger Bahnen ab, sondern auch von den Ansprüchen, welche deren Blätter an die Wasserzufuhr machen. Pflanzen mit leicht erschlaffenden, zarten Blättern, wie Robinia, stehen da naturgemäss solchen mit harten, resistenten Blättern nach. Während die Robinie nach etwas stärkerer Erschlaffung sich überhaupt nicht mehr erholte, vermochten Rothbuche, Eiche und Vitis die Operation sogar einige Male zu überstehen. Ein Holzkörper mit so zahlreichen und engen Bahnen, wie sie der Rothbuche und dem Ahorn zukommen, muss an sich schon bei solchen Versuchen sehr im Vortheil sein.

Zweige, die in Wasser ihren Turgor zurückerlangten und dann auch noch längere Zeit in demselben stehen blieben, deckten nicht nur den vorausgegangenen Wasserverlust ihrer Leitungsbahnen, sie wurden sogar wasserreicher wie zuvor. Das zeigte

nicht nur direct die anatomische Untersuchung, sondern es folgte dies auch aus ihrem Verhalten, wenn sie aus dem Wasser genommen von neuem welken sollten. Sie brauchten jetzt entschieden mehr Zeit dazu wie bei dem ersten Versuch.

Diese letzte Thatsache führte nothwendig zu der Annahme, dass ein Theil der Luft aus den Leitungsbahnen wieder entfernt worden war.

Es lag nun nahe, zu fragen, ob diese Beseitigung von Luft aus den Leitungsbahnen, welche deren Leitungsfähigkeit wieder erhöht, auf einem rein physikalischen oder einem vitalen Vorgang beruhe. Es wäre ja denkbar, dass diese Luft der Leitungsbahnen eine Reizwirkung auf die umgebenden lebenden Elemente ausübe und ein energisches Aufsaugen von Luft durch dieselben veranlasse. Ein solches corrigirendes Eingreifen in den Inhalt der Leitungsbahnen könnte ja zu den Functionen der die Leitungsbahnen stets begleitenden lebendigen Zellen gehören.

Um dies zu entscheiden, stellte ich vergleichende Beobachtungen über das Verhalten gleich starker Zweige derselben Art an, von welchen der eine in der ursprünglichen Verfassung blieb, während an dem anderen der untere Theil gebrüht wurde. Zu den Versuchen dienten Zweige von Robinia, Wistaria, Linde, Eiche und Rothbuche, sowie lange Stammstücke von Aristolochia und Vitis. Die Zweige wurden unter Wasser von ihrem Mutterstamm getrennt und brachten zunächst eine halbe Stunde im Wasser zu. Das Brühen in heissem Wasser von 90° C dauerte über eine halbe Stunde. Die Zweige von Robinia, Wistaria, Linde, Eiche und Rothbuche wurden etwa 50 cm weit, diejenigen von Vitis und Aristolochia 1 und 2 m weit, in einem Falle sogar 4 m weit, dieser Operation unterworfen. Die ungebrühten, sowie die gebrühten Zweige mussten hierauf den gleichen Grad von Schlaffheit, an der Luft liegend, erreichen, wurden hierauf um 10 cm zurückgeschnitten und in Wasser eingesetzt. Da das Brühen grosse Mengen Wasser den Zweigen zuführte, so brauchten die so behandelten wesentlich länger zum Welken als die ungebrühten. Um daher annähernd zu gleicher Zeit die gebrühten Zweige und die Vergleichszweige einsetzen zu können, wurden die letzteren entsprechend später zum Welken ausgelegt. Das Ergebniss war, dass gleich stark erschlaffte Zweige sich, wenn überhaupt, auch gleich rasch erholten, sie mochten im unteren Theile gebrüht sein oder nicht.

Das galt ebensowohl für die 5,5 m langen Vitis-Aeste, von denen der eine auf einer Strecke von 4 m gebrüht war, als auch für die kürzesten Versuchspflanzen. Gelang es nach einem zweiten Abwelken, die Versuchspflanzen wieder turgescent zu bekommen, so verhielten sich auch diesmal die gebrühten Exemplare nicht anders als die ungebrühten, so bei Vitis und Wistaria. Es war mit einem Worte nicht möglich, einen constanten Unterschied zwischen den verschieden behandelten Versuchspflanzen nachzuweisen. Aus diesem übereinstimmenden Verhalten würde freilich zunächst nur folgen, dass in beiden Fällen leitungsfähige Bahnen zurückgeblieben seien; es stieg jedoch auch der Wassergehalt der gebrühten wie der ungebrühten Zweige in übereinstimmender Weise. Nicht die lebenden Elemente sind es also wohl, welche die Luft der Leitungsbahnen aufsaugen, es dürfte vielmehr wohl das Wasser von den leitungsfähig gebliebenen Bahnen aus sich langsam über die anderen verbreiten und die Luft aus denselben zu verdrängen vermögen [1]). Doch wie sich das im Einzelnen verhält, darüber werden weitere Untersuchungen erst Licht zu verbreiten haben.

Wiederholt nahm ich auch Gelegenheit, die in Salzlösungen, beziehungsweise in giftige Substanzen gestellten, lebendigen Pflanzen, sowie auch die getödteten und injicirten, bestimmte Flüssigkeiten aufwärts leitenden Pflanzentheile auf den Luftgehalt ihrer Leitungsbahnen zu prüfen. In allen diesen Fällen fehlte die Luft in den Leitungsbahnen niemals vollständig. — Die Fichte, die in Kupfervitriol seit ca. zwei Monaten stand und todt seit Wochen war, zeigte in 11,3 m Höhe, innerhalb der Jahresringe, die durch Kupfervitriol gefärbt waren, nur ganz vereinzelte Luftblasen im Frühholze, mehr oder weniger Luft im Spätholze. Alle durch das Kupfervitriol nicht gefärbten Partieen des Holzes waren andererseits mit Luft fast vollständig angefüllt, dieses etwa vom 12. Jahresringe, von aussen gerechnet, an. Die gefärbte innere Zone zeigte sich an dieser Stelle 8 cm, die nicht gefärbte 12 cm dick. — Ein Taxuszweig, der seit vier Tagen in rothem Blutlaugensalz verweilte, zeigte bei 1 m Höhe in den

1) Eine Absorption von atmosphärischer Luft durch die Membranen selbst dürfte nach Böhm nicht stattfinden. Ueber das Verhalten von vegetabilischen Geweben und von Stärke und Kohle zu Gasen, Bot. Ztg. 1883, Sp. 546, 554.

beiden äussersten Jahresringen fast gar keine Luftblasen im Frühholz und auch nur wenige im Spätholze. Ganz ähnlich verhielt sich auch ein anderer Taxuszweig, der sich in einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali befand. In Taxuszweigen, die durch längeres Brühen in Wasser von 90° C getödtet und dann in Eosin-Wasser gestellt worden waren, führte nur die Markkrone etwas Luft und stellenweise die Spättracheïden. — Acacia floribunda-Zweige, die seit zwei Tagen in rothem Blutlaugensalze weilten, in halber Höhe quer durchschnitten und unter Olivenöl mit der Drahtzange gepresst, liessen ausser Flüssigkeit nur ganz vereinzelte Luftblasen aus den Gefässen der äusseren Jahresringe treten. Aehnlich verhielten sich gebrühte und in Eosin-Wasser gestellte Zweige von Wistaria, Eiche, Weide, Vitis, Amygdalus und anderen Holzgewächsen. Im Allgemeinen zeigten sich solche gebrühte Zweige bald nach der Operation und dem Einstellen in Eosin-Wasser wesentlich wasserreicher als das frische Holz. Nach mehrtägigem Stehen konnte der Luftgehalt bedeutend zunehmen, wenn nicht für eine gute Erhaltung der Leitungsbahnen hinreichend gesorgt, und so ein Zurücktrocknen von oben her nicht verhindert wurde. Hatte ein Zurücktrocknen von oben begonnen, so zeigten sich die Leitungsbahnen in dem oberen Theile des Zweiges wesentlich luftreicher als im unteren. Dasselbe Verhalten wie für Holzflanzen wurde auch für den halbholzigen Ricinus und für die krautartigen Stengel von Cobaea und Cyclanthera festgestellt.

Es sei an dieser Stelle auch daran erinnert, dass die Gelatinelösungen, die wir in dünnflüssiger Form, in stark erwärmtem Zimmer, von lebendigen Pflanzen aufnehmen liessen und in den Leitungsbahnen dann zum Erstarren brachten, in erstarrten Cylindern eingeschlossene Luftblasen aufwiesen. Wir fanden, dass diese Luftblasen von Gelatine umhüllt und auch von der Wand des leitenden Elementes durch eine dünne Gelatineschicht getrennt waren.

Durch die Ergebnisse dieser Untersuchungen über die Vertheilung von Luft und Wasser innerhalb der thätigen Wasserbahnen werden auch die Bestimmungen von R. Hartig [1])

---

1) Ueber die Vertheilung der organischen Substanz etc., Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, II, p. 28.

über den Wassergehalt des Holzes ins richtige Licht gestellt. R. Hartig berechnete beispielsweise aus den zu verschiedenen Jahreszeiten in dem Splint der Birke vorgefundenen Wassermengen aus, dass dort im Mai ca. 71% des Zelllumens, im October nur 35% mit Wasser erfüllt seien. Es ist klar, dass diese Angabe nicht in dieser allgemeinen Form Geltung haben kann, weil das Wasser je nach der Menge, in der es zur Verfügung steht, sich nicht gleichmässig, vielmehr verschieden auf die einzelnen Bahnen vertheilt. So dürften wohl, im Mai wie im October, gewisse Elemente des Splintes, in den auf ihren Wassergehalt untersuchten Birken, gleich wasserreich gewesen sein, andere hingegen im Mai Wasser geführt haben, die im October ganz entleert waren. Auch den Wassergehalt des Splintes bei der Eiche fand R. Hartig je nach der Jahreszeit wechselnd, so zwar berechnet er, dass Ende Februar das Wasser 30%, Anfang Juli 54% des Zelllumens füllte[1]). Zeitweise sank der Wassergehalt der Eiche im oberen Baumtheile auf 15% des Zelllumens, was, wie schon R. Hartig richtig bemerkt, darauf zurückzuführen war, dass sich die grossen Gefässe mit Luft angefüllt hatten. Im Splint der Fichte sollte sogar im Durchschnitt $^{8}/_{10}$ des Zelllumens mit Wasser angefüllt gewesen sein, dieser Wassergehalt nur sehr wenig zwischen 77 und 85% geschwankt haben[2]). R. Hartig giebt an, dass bei der Rothbuche, Fichte, Kiefer zu jeder Jahreszeit der Splintkörper nach oben zu wasserreicher wird[3]). Diese Erscheinung dürfte mit der Abnahme des Durchmessers der Elemente nach oben zusammenhängen. Denn die englumigeren Elemente halten nicht nur das Wasser energischer fest, sie entziehen es auch den weiteren Elementen. Hierauf kommen wir später noch zurück.

Im Anschluss sei erwähnt, dass Volkens[4]) auch bei einer Anzahl krautartiger Pflanzen eine Bestimmung des Gefässinhalts vorgenommen hat. Er bemerkt selbst dazu, dass seine Angaben nur Gültigkeit für krautartige Pflanzen beanspruchen und nicht

1) l. c. p. 38.
2) l. c. p. 45.
3) l. c. p. 29.
4) Ueber Wasserausscheidung in liquider Form an den Blättern höherer Pflanzen, Jahrb. d. bot. Gart. zu Berlin, Bd. II, 1883, p. 181.

ohne weiteres auf hochstämmige Bäume übertragen werden dürfen. Bei den niedrigen Pflanzen würden ja „Kräfte wie Wurzeldruck, Capillarität und durch negativen Druck hervorgerufene Saugung vollkommen genügen, um das Aufsteigen des Wassers in den Gefässen bis zum Gipfel zu erklären, bei hohen Bäumen aber dieselben Kräfte selbst in ihrer Gesammtwirkung bei weitem nicht ausreichen, um einen gleichen Effect zu erzielen". Thatsächlich stimmen die in niedrigen Pflanzen herrschenden Verhältnisse mit den in hohen Bäumen gegebenen überein und lassen sich hier daher auch vollkommen an dieselben anreihen. Das Verhalten der krautartigen Pflanzen liesse sich am besten mit denjenigen noch grüner Zweigsprosse bei den Holzgewächsen vergleichen, wie denn der Bau in beiden Fällen wesentlich übereinstimmend ist. Das Ergebniss der Untersuchungen von Volkens war im Allgemeinen das, „dass die Gefässe krautartiger Pflanzen in den frühesten Morgenstunden, solange die Transpiration fehlt oder nur geringfügig bleibt, nur Wasser in ihrem Innern führen, und dass im Laufe des Tages ein Theil des Wassers durch Luft ersetzt ist" [1]). Im Einzelnen entnehme ich den Angaben von Volkens noch, dass bei Calla palustris, Caltha palustris, Menyanthes trifoliata und bei einer Fuchsia, welche, stundenlang im Zimmer stehend und theilweise dem directen Sonnenlicht ausgesetzt, transpirirt hatten, die trachealen Elemente in der Blattlamina ausser Wasser Luftblasen enthielten, einzelne auch nur Luft, selten nur Wasser. „Die engsten Gefässe, welche als vereinzelte Abzweigungen oder Verbindungen stärkerer Gefässstränge sich im Mesophyll verbreiten, sind in der Regel nur mit Wasser erfüllt" [2]). „Im Freien angestellte Beobachtungen", fügt Volkens hinzu, „an Blattflächenschnitten von Ribes, Sambucus, Fraxinus, Aesculus, Quercus etc. liessen stets, besonders in den engeren Gefässen, neben Luft auch reichliche Mengen von Wasser erkennen."

Ich selbst habe in den Blättern der zahlreichen Holzgewächse, die ich im Sommer während der Tagesstunden untersuchte, in den letzten Gefässbündelauszweigungen niemals Luftblasen gefunden, wohl aber in stärkeren Bündelästen der Lamina.

1) l. c. p. 184.
2) l. c. p. 181.

Entsprechend lauten einige Angaben von Elfving, „dass in den äussersten Tracheïden niemals Luftblasen vorkommen“ [1]); und so will auch Scheit [2]) in den Saumtracheïden der Coniferenblätter nie Luft, sondern nur Wasser oder Wasserdampf gefunden haben.

Unmittelbare Beobachtungen der Wasserströmung in den Leitungsbahnen der Pflanzen.

Versuche, die Wasserströmung in der Pflanze direct zu sehen, sind von anderer Seite schon gemacht worden. So hat Vesque zunächst an einem abgeschnittenen, an seinem unteren Ende zugeschärften Stengel von Hartwegia comosa das Einströmen von Wasser in die Gefässe bei entsprechender Vergrösserung verfolgt [3]). An Körnchen, welche der Wasserstrom mit sich riss, bestimmte Vesque dessen Schnelligkeit auf 4,2 m pro Stunde. Wurde ein Gefäss durch Körnchen verstopft, so traten alsbald Luftblasen in demselben auf. Schnitt Vesque während der Beobachtung das belaubte Ende des Sprosses ab, so hörte die Bewegung des Wassers in den Gefässen sofort auf. Dann verschloss Vesque abgeschnittene Zweige von Tradescantia und Hartwegia am unteren Querschnitt und trug einige Centimeter höher, beiderseits am Stengel, so viel Gewebe ab, dass die Beobachtung einiger Gefässe ermöglicht wurde. Die Wasseraufnahme erfolgte an den so ausgeführten Schnittflächen. In diffusem Lichte schwanden die in den Gefässen enthaltenen Luftblasen; sie konnten sich im Gegentheil vergrössern, wenn die Blätter von der Sonne getroffen wurden. Die Luftblasen schwanden alsdann an Ort und Stelle, nur einzelne bewegten sich, nachdem sie an Grösse bedeutend abgenommen hatten

---

1) Ueber den Transpirationsstrom in den Pflanzen, Acta societatis scienc. Fennicae, T. XIV, 1884, Sep.-Abdr. p. 19.

2) Die Tracheïdensäume der Blattbündel der Coniferen, Jen. Zeitschr. f. Naturwiss., Bd. XVI, N. F. Bd. IX, 1883, Sep.-Abdr. p. 9.

3) Observation directe du mouvement de l'eau dans les vaisseaux, Ann. d. sc. nat. Bot., VI. sér., T. XV, p. 5. Einige diesbezügliche Angaben auch in: Recherches anatomiques et physiologiques sur la structure du bois, ebendas. T. III, p. 358.

und nicht mehr die Gefässwand berührten[1]). Vesque schliesst aus seinen Beobachtungen, erstens, dass eine directe Wasserbewegung in solchen Gefässen, die durch zahlreiche Luftblasen verstopft sind, ausgeschlossen ist, zweitens, dass in einer Pflanze, die wenig transpirirt, aber leicht Wasser aufnehmen kann, die Luftblasen verschwinden, während die Wassersäulen an Länge zunehmen; drittens, dass einem durch Luftblasen verstopften Gefässe das unter den Luftblasen angesammelte Wasser so rasch durch das umgebende Gewebe entzogen werden kann, dass die tiefer befindlichen, isolirten, oder sehr kleinen Luftblasen mit fortgerissen werden. — In anderen Gefässen sah Vesque die Luftblasen in langsamer Bewegung. Aus dem Umstande, dass zwischen zwei ziemlich langen, einander genäherten Luftblasen die Wassersäule wachsen kann, schliesst er auf eine nach dem Gefässinnern gerichtete, durch die Gefässwand erfolgende Wasserzufuhr, da eine Bewegung von Wasser zwischen der Gefässwand und der Luftblase schwer anzunehmen sei. Die Gefässe sollen danach den Wasserstrom leiten, wenn sie voll von Wasser sind; der localen Uebertragung (translation locale) dienen, wenn sie ziemlich lange, in grösseren Abständen durch Luftblasen festgehaltene Wassersäulen enthalten; unthätig sein, wenn sie kleine Wassersäulen und viel Luftblasen führen. Bei wirksamer Transpiration geben die Gefässe das Wasser an die umgebenden Elemente ab und füllen sich mit Luft. Bei verlangsamter Transpiration nimmt die Luft in den Gefässen ab und verschwindet zuletzt vollständig. Die Gefässe seien Wasserleitungsrohre in einigen speciellen Fällen; Wasserreservoire in allen Fällen; das trete klar hervor, jedesmal wenn Wasser durch Luft in diesen Röhren ersetzt werde. — In einem anderen Aufsatze giebt Vesque an, gesehen zu haben, wie aus Gefässen, die durch Luftblasen verstopft waren, das Wasser in die angrenzenden Holzfasern so rasch drang, dass die Strömung an den betreffenden Stellen sich direct verfolgen liess[2]). Später hat Vesque auch die Möglichkeit einer Bewegung des Wassers zwischen Luftblasen und

1) l. c. p. 10.

2) Sur l'interprétation d'une expérience de Hales concernant le rôle des vaisseaux, Comptes rendus, T. 97, 1883, p. 1085.

den Wänden der Leitungsbahn ins Auge gefasst [1]). Zwischen Luftblase und Wandung soll sich eine dünne Wasserschicht befinden, welche die scheinbar isolirten Wassertropfen verbindet. Werde einem dieser Tropfen von aussen Wasser zugeführt, so fliesse ein Theil durch die dünne Verbindungsschicht dem benachbarten Tropfen zu. Durch die vorhandenen Unterschiede in der Spannung der Luftblasen werde das Wasser in der Pflanze in solcher Weise aufwärts befördert. — Direct den Vorgang der Wasserbewegung in der Pflanze zu sehen, versuchte auch Capus [2]) und bediente sich hierzu besonders der Begonien. Auf der einen Seite eines Internodiums nahm er das Gewebe bis zum Cambium weg, auf der anderen Seite ein Gewebsstück, das die Entfernung des Markes an der entsprechenden Stelle gestattete. Er konnte alsdann den Inhalt der Gefässe unmittelbar verfolgen und constatirte, dass je nach der Witterung mehr oder weniger Luftblasen in den Gefässen und den Holzfasern sich befinden. Sobald die Pflanze nicht mehr von der Sonne getroffen wird, beginnen sich die betreffenden Elemente mit Wasser zu füllen, die Ausdehnung der Luftblasen nimmt ab und sie verschwinden schliesslich. Ist hingegen die Transpiration besonders wirksam, so verschieben sich die Luftglieder und geben so indirect die aufsteigende Bewegung des Wassers in der Pflanze an.

Ich selbst kam alsbald zu der Ueberzeugung, dass so werthvolle Anknüpfungspunkte die Beobachtung der Wasserbewegung in der lebenden Pflanze auch für weitere Fragestellung bietet, die Eingriffe, welche die Zubereitung des Objects nothwendig macht, Fehlerquellen bedingen, die leicht auf Abwege führen können. Nach mannigfachen Versuchen blieb ich daher zunächst bei getödtetem Splintholz der Coniferen stehen, da das Coniferenholz einerseits in seinem Bau die einfachsten Verhältnisse für die Beobachtung bot, durch die Abtödtung andererseits sich stets gleich bleibende Bedingungen für diese Beobachtung geschaffen wurden. Ich benutzte Alcohol-Material und zwar von

---

1) Sur le rôle des tissus morts dans l'ascension de la sève, Ann. Agronomiques, T. XI, 1885, p. 214, und: Sur le prétendu rôle des tissus vivants dans l'ascension de la sève, ebendas., p. 481.

2) Sur l'observation directe des mouvement de l'eau dans les plantes, Comptes rendus, T. 97, p. 1087.

Schafttheilen der Edeltanne, die gleich nach der Fällung des Stammes in Alcohol eingelegt worden waren. Soweit ich frisches Material der Edeltanne, das noch keinerlei Veränderung erfahren hatte, benutzte, deckten sich die Ergebnisse durchaus mit den an Alcohol-Material gewonnenen. An den in Alcohol conservirten, 10 cm hohen Holzkeilen wurden zunächst entsprechende Schnittflächen dargestellt, welche genau dem Verlauf der Tracheïden folgten, radiale sowohl als tangentiale; von diesen trug ich nach Bedarf mit einem flachen und breiten, sehr scharfen Skalpell Lamellen ab, welche meist die Höhe des ganzen Keiles, die Dicke aber von drei bis zehn Tracheïden hatten. Diese Lamellen trocknete ich entweder an der Luft, oder ich legte sie zunächst wieder in Alcohol und führte sie dann unmittelbar in Wasser über, oder ich legte sie erst in Wasser, nachdem ein Theil des Alcohols von ihnen abgedunstet war. Im Wasser hatten die Lamellen so lange zu verweilen, bis der Alcohol durch Wasser ersetzt war. Sie dienten dann entweder direct zu den Versuchen oder erst nachdem sie eine Zeit lang an der Luft gelegen. Dadurch waren äusserst zahlreiche Combinationen geschaffen: lufthaltige Tracheïden; mit Wasser vollständig angefüllte Tracheïden; wasserhaltige Tracheïden mit grösseren oder kleineren Luftblasen; endlich wasserhaltige Tracheïden mit Luftblasen von negativer Spannung. Die Beobachtungen wurden an einem grossen, zum Umlegen eingerichteten, mit drehbarem Tisch versehenen Stative ausgeführt. Ich drehte den Objecttisch zunächst so, dass die Mikrometerschraube rechts zu stehen kam und legte dann den Oberkörper horizontal um. Die Lamellen konnten in Folge dessen in verticaler Stellung untersucht werden. Ich befestigte sie an ihrem oberen Ende entweder zwischen zwei Korkplättchen an dem horizontalen, leicht verschiebbaren Arme eines nah am Mikroskop stehenden Halters, oder ich fasste sie einfach an ihren Enden zwischen zwei Objectträger, die ich mit der Hand an dem Objecttisch des Mikroskops festhalten und verschieben konnte. Nach erfolgter Einstellung bei 90- bis 120-facher Vergrösserung, wurde den Lamellen von unten her auf einer Skalpellfläche oder mit dem Pinsel Eosin-Wasser geboten. Unter Umständen brachte ich gleichzeitig am oberen Ende des Spanes Saugung mit Fliesspapier an. Da die zu beobachtenden Erscheinungen sehr rsch ablaufen, ist die Hilfe einer zweiten Person, welche

die Farbstofflösung an den gewünschten Stellen zuführt, beziehungsweise mit der Saugung einsetzt, nothwendig. Herr Dr. H. Schenck hatte die Güte, mich vielfach in solcher Weise zu unterstützen.

In einem nur Luft führenden Span, einem Span, wie ich ihn gewonnen, wenn ich die an Alcohol-Material dargestellten Lamellen an der Luft liegen liess, steigt die Farbstofflösung äusserst rasch auf, mit Hilfe von Menisken. Die Luft wird mit Leichtigkeit durch die trocknen Schliesshäute verdrängt. Der Aufstieg der Flüssigkeit erfolgt sehr rasch. Ist eine Tracheïde bis oben angefüllt, so hält der Aufstieg für eine Weile an, um sich hierauf, zunächst langsam, dann schneller, in einer nächst höheren Tracheïde einzustellen. Das Verhalten der Flüssigkeit bei Uebertritt aus einer Tracheïde in die andere lässt sich nur an tangentialen Längsschnitten verfolgen. Man kann dann sehen, wie in dem Maasse, als sich die Tracheïde verengt, der Meniscus immer concaver wird und wie schliesslich die Tracheïde vollständig bis in ihre äusserste Spitze hinein angefüllt wird. Hierauf beginnt sich langsam Flüssigkeit zu sammeln in dem zugeschärften unteren Ende der nächst höheren Tracheïden. Alsbald ist ein kleiner, hohler Meniscus am oberen Ende dieser kleinen Flüssigkeitssäule zu unterscheiden, ihre Höhe nimmt zu, und ist die Zufuhr an Farbstofflösung ausreichend, so wird auch diese Tracheïde bald ausgefüllt. Je nach den Mengen der gebotenen Flüssigkeit gestaltet sich der Aufstieg langsam oder schneller, unter Umständen wird er so rasch, dass man die fortschreitenden Menisken gar nicht mehr verfolgen kann. — An den radialen, luftführenden Spänen ist der Aufstieg viel ergiebiger in den weiten Frühtracheïden als in den engen Spättracheïden. Augenscheinlich gelingt die Verdrängung der Luft weniger leicht aus den letzteren.

Setzte man einen an der Luft trocken gewordenen r a d i a l e n Span mit einer Längskante statt mit einer Querkante in die Farbstofflösung, so stieg letztere nur wenig und nur langsam auf. Das Aufsteigen findet nur an der Aussenfläche des Schnittes statt, und von da aus dringt die Farbstofflösung durch die Tüpfel in die Tracheïden ein, um sich von einzelnen Stellen aus wagerecht, der Längsrichtung der Tracheïden folgend, zu verbreiten. Langsam stieg auch der Farbstoff in tangential geschnittenen Spänen, die ich mit einer Längskante in die Farb-

stofflösung tauchte, ungeachtet jetzt durch die Tüpfel eine directe Communication zwischen den angrenzenden Tracheïden gegeben war. Verfolgte man diesen Aufstieg direct mit dem Mikroskop, so konnte man sehen, wie der Farbstoff bei jedem neuen Stockwerk, das er erreichte, sich zunächst rasch in tangentialer Richtung horizontal ausbreitete und hierauf erst wieder seinen Weg zum nächst höher gelegenen Stockwerke fortsetzte. Um aus einem Stockwerk in das nächste zu gelangen, benutzte er vornehmlich die reich getüpfelten, schräg orientirten Terminalwände der Tracheïden. Vielfach sah man ihn in ein neues Stockwerk an mehreren Stellen zugleich eindringen und die horizontal sich ausbreitenden Ströme dort, von verschiedenen Seiten kommend, auf einander treffen. In allen Fällen kam ein neues Stockwerk erst an die Reihe, wenn das vorhergehende ausgefüllt war. Es trat Flüssigkeit in ein nächst höheres Stockwerk erst über, wenn der Zug der Menisken innerhalb des sich füllenden Stockwerkes aufgehört hatte. Daher sich der Aufstieg im Allgemeinen in der ganzen Breite des Spanes in gleicher Höhe hielt, auch wenn der Farbstoff der Längskante nur an einer einzigen Stelle geboten wurde. Hierbei machten sich alsbald auch Widerstände geltend, welche darauf hinwiesen, dass die aufgenommene Flüssigkeit mit einer gewissen Energie innerhalb der einzelnen Bahnen festgehalten wurde. Der Aufstieg pflegte nach kurzer Zeit zum Stillstand zu kommen, auch wenn die Farbstofflösung in unbegrenzter Menge der Längskante des Spanes zur Verfügung stand. Im Allgemeinen pflegte sich der Span auf diesem Wege nicht über 3 cm hoch zu färben. Sein oberer Theil blieb ungefärbt und trocken. Also auch die gefüllten Bahnen setzen dem seitlichen Austritt der Flüssigkeit einen Widerstand entgegen. Auch dieses erklärt sich wohl aus dem Zug der Menisken, welche die offenen Enden der Bahnen einnehmen. Der Zug der Menisken setzt jedenfalls einer Bewegung, die senkrecht zu demselben orientirt ist, Hindernisse entgegen.

Dieselbe geringe Neigung zu einer seitlichen Abgabe des Farbstoffes trat mir auch deutlich an tangentialen Spänen entgegen, welche ich ⊔-förmig zerschnitten hatte und deren schmales unteres Ende ich hierauf in Berührung mit der Farbstofflösung brachte. Dieselbe stieg dann äusserst rasch gerade

aufwärts, in dem schmalen Stücke und in der directen Fortsetzung derselben; nach den beiden Seiten hin verbreitete sie sich aber nur ganz langsam und meist ohne die Seitenkanten des Spanes zu erreichen. Damit der Versuch gut ausfalle, empfahl es sich, die Kanten des Spanes, mit Ausnahme der oberen, mit Fett zu bestreichen, damit die Farbstofflösung nicht an diesen Kanten selber sich ausbreite und von denselben aus die Bahnen fülle.

Wurde ein an der Luft trocken gewordener radialer Span in Wasser getaucht, sofort von aussen abgetrocknet und sodann mit dem einen Ende in die Farbstofflösung getaucht, so stieg letztere fast gar nicht auf. Das hing damit zusammen, dass beim Eintauchen solcher radialer Späne alle nach aussen gekehrten Hoftüpfel sich mit Wasser angefüllt, hiermit capillar verstopft und für Luft schwer durchlässig geworden waren. Die von unten aufsteigende Farbstofflösung konnte somit die Luft nicht verdrängen und musste alsbald stehen bleiben. Wartete man so lange, bis das Wasser aus den peripherischen Hoftüpfelräumen wieder verdunstet war, so stieg auch die Farbstofflösung entsprechend empor.

Das Eintauchen und rasche Abtrocknen tangentialer Späne hatte nicht die gleichen Folgen. Da kamen ja die Hoftüpfel mit dem Wasser nicht in Berührung und wurden daher auch nicht verstopft, die Luft konnte sich frei im Innern des Schnittes bewegen, auch durch die angeschnittenen Elemente des Randes nach aussen entweichen und somit auch von der aufsteigenden Farbstofflösung verdrängt werden.

Späne, aus denen der Alcohol zum Theil verdunstet war und die hierauf längere Zeit in Wasser zugebracht hatten, enthielten Luftblasen von atmosphärischer Spannung. Wurde solchen Spänen Farbstofflösung geboten, so stieg dieselbe zunächst nicht auf. Sie that dies weiterhin nur langsam, in dem Maasse, als der Span durch Verdunstung Wasser einbüsste. Wurde aber ein noch völlig gesättigter Span an einer beliebigen Stelle mit einem dünnen Fliesspapierstreifen berührt und dieser Stelle auf solche Weise Wasser entzogen, so stieg die Farbstofflösung von unten auf geradlinig bis zu dieser Stelle empor, um den Verlust zu decken. War die verursachte Strömung stark, so riss sie die Luftblasen innerhalb der Tracheïden mit sich fort. Regulirte man sie entsprechend, so blieben die Luftblasen zum

Theil unbewegt, der Strom konnte aber zwischen denselben und der Tracheïdenwandung vorbeigehen. An der Thatsache liess sich nicht zweifeln, da die Farbstofflösung leicht und sicher in ihrem Aufsteigen zu verfolgen war. Kleine Luftblasen überwand die aufsteigende Flüssigkeit leichter, grössere stellten ihrem Aufstieg einen deutlichen Widerstand entgegen, an noch grösseren vermochte sie nicht vorbeizukommen. Dann trat Farbstofflösung alsbald seitlich durch die Tüpfel oberhalb der Luftblase in die Tracheïde aus den benachbarten ein. Dass nicht auch in allen anderen Fällen die oberhalb einer Luftblase sich zeigende Farbstofflösung seitlichen Ursprungs war, wurde in zahlreichen Fällen sicher constatirt. — Die geradlinige Bahn, welcher die Farbstofflösung folgte, entsprach naturgemäss dem Längsverlauf der Tracheïden. Von dieser geradlinigen Bahn aus breitete sich der Farbstoff seitlich nur sehr wenig aus. Die Breite des gefärbten Streifens am Span entsprach somit fast genau der Breite der Berührungsstelle derselben mit dem Fliesspapier. In solchen wasserhaltigen Spänen steigt die aufgesogene Farbstofflösung vielfach rascher innerhalb der engen Spättracheïden, als innerhalb der ersten Frühtracheïden, ein Verhalten, welches sich sonach mit dem in trocknen Spänen zu beobachtenden nicht deckt.

Die Feststellung der Thatsache, dass das Wasser innerhalb der Leitungsbahnen der Pflanzen auch zwischen einzelnen Luftblasen und der Wandung sich bewegen kann, ist von grösster Bedeutung. Sie hilft über manche Widersprüche hinweg, welche zwischen dem thatsächlich Beobachteten, und dem von dem Inhalt der Leitungsbahnen anscheinend zu Fordernden, zu bestehen scheinen. Kann das Wasser auch innerhalb einer Leitungsbahn aufsteigen, die Luftblasen in begrenzter Anzahl und Grösse führt, so erscheint es auch weniger auffällig, dass man die Leitungsbahnen der Pflanzen lufthaltig findet. Wirklich luftreich wird man hingegen innerhalb der thätigen Abschnitte der Wasserbahnen nur solche Wasserbehälter finden können, in welchen der Aufstieg als solcher sich nicht vollzieht. Derartige Wasserbehälter sind vielfach die weiten Gefässe. Wo relativ weite Gefässe hingegen allein die Wasserleitung besorgen, wird ihr Luftgehalt nicht über ein bestimmtes oberstes Maass steigen dürfen und in der That fanden wir denn in solchen Fällen stets die thätigen Leitungsbahnen sehr arm an Luft. Dass thatsächlich die

obere Grenze des Luftgehaltes für die eigentlichen Leitungsbahnen gezogen ist, haben wir auf dem Wege anderer Versuche schon festgestellt. Dasselbe lehren uns direct die Beobachtungen an Spänen, denn steigern wir, vor dem Einlegen in Wasser, den Luftgehalt der aus dem Alcohol-Material geschnittenen Späne bedeutend, so dass die Tracheïden in denselben grosse Luftblasen und nur wenig Wasser führen, so steigt die Farbstofflösung nur noch schlecht, stellenweise gar nicht in diesen Spänen auf. Was bei so kurzen Spänen aber nur den Aufstieg erschwert, muss ihn, durch Summirung der Hindernisse, innerhalb längerer Strecken bald hemmen.

Die Möglichkeit, dass sich das Wasser in einer dünnen Schicht zwischen den Luftblasen und den Wandungen der trachealen Bahnen bewege, schwebte bereits Vesque vor, und suchte er sie aus der Capillarität abzuleiten [1]). Mit Recht hob Schwendener [2]) dagegen hervor, dass für eine solche Bewegung in den Schriften der Physiker die Anknüpfungspunkte fehlen, dieselbe sei weder jemals constatirt noch auch hypothetisch angenommen worden. Mit der directen Beobachtung des Vorgangs wird freilich jetzt zu rechnen sein. Für die Deutung derselben fehlen in der That zunächst die Anknüpfungspunkte.

In solchen Spänen, die mit Wasser und Luft angefüllt sind, steigt die aufgenommene Farbstofflösung nicht mit Menisken. Sie folgt vielmehr der Strömung, welche entstehen muss, wenn dem Span Wasser entzogen wird. Da die mit Wasser erfüllten Hoftüpfel die Luft zurückweisen, so lässt sich der mit Fliesspapier erzeugte Aufstieg sehr einfach durch Luftdruck erklären. Es liegt wenigstens keine Veranlassung vor, zu einem anderen Erklärungsversuche zu greifen. An der Stelle, an welcher das Wasser mit Fliesspapier dem Span entzogen wird, müssen die in den Tracheïden eingeschlossenen Luftblasen zugleich eine entsprechende Ausdehnung erfahren. Eine directe Feststellung dieser Ausdehnung erschien aber ausgeschlossen. Um das Wasser 10 cm hoch in dem Span zu heben, brauchte eine Luftblase von 0,1 mm Länge sich in der

---

1) Sur le prétendu rôle des tissus vivants dans l'ascension de la sève, Ann. agronomiques, T. XI, p. 481.

2) Untersuchungen über das Saftsteigen, Sitzber. d. math.-phys. Cl. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, Bd. XXXIV, 1886, p. 593.

That nur um ca. 0,001 mm zu verlängern, eine Grössenzunahme, welche sich der directen Wahrnehmung entziehen müsste.

Auch mit Wasser und Luft erfüllte tangentiale Späne heben die Farbstofflösung wenig, wenn sie dieselbe mit einer Längskante aufnehmen. Nur wenige Centimeter färben sich, im Uebrigen trocknet der Span, von oben her, aus.

In denselben tangentialen, mit der Längskante in die Farblösung tauchenden Späne wirkte auch eine höher angebrachte Saugung mit Fliesspapier nur auf sehr geringe Entfernung ein, und selbst dann lange nicht so energisch als in der Längsrichtung. Eine ebensolche Saugung auf radiale, mit der Längskante in Farbstofflösung tauchende Späne blieb ganz wirkungslos.

Wurde ein Span wie die vorhergehenden, doch nur 4 cm lang, an seinem oberen Ende zwischen Fliesspapier gefasst und nunmehr mit der unteren Querkante in die Farbstofflösung getaucht, so brauchte der Farbstoff annähernd eine Minute, um bis in die obere Kante zu gelangen. Bei doppelt so langen Spänen wuchs die Zeit annähernd um das Vierfache.

In solchen Spänen, die ich aus dem Wasser nahm und an der Luft eine Zeitlang liegen liess, kamen die eingeschlossenen Luftblasen in negative Spannung. Ein derartiger Span entsprach in vollem Maasse dem gesammten, gegen die umgebende Luft abgeschlossenen, mit Wasser entsprechend angefüllten Leitungssystem einer Pflanze zur Zeit starker Transpiration. Wurde ein solcher Span mit einer Querkante in die Farbstofflösung getaucht, so stieg diese sehr rasch auf. Bei heftigem Aufstieg, namentlich in dem unteren Theile des Spanes, wurden die Luftblasen durch die eindringende Farbstofflösung mit fortgerissen; sie geriethen in lebhafte Bewegung. Höher hinauf nahm die Heftigkeit dieser Bewegung der Luftblasen in entsprechendem Maasse ab. Die Farbstofflösung stieg bis zu dem Augenblicke auf, wo sich die Spannung der Luftblasen mit derjenigen der umgebenden Atmosphäre ausgeglichen hatte. Der Aufstieg war jedenfalls auch hier durch Luftdruck veranlasst und hierin, wie wir weiterhin noch sehen werden, von dem eigentlichen Vorgang im Innern der Pflanze verschieden. Auch im Innern der Pflanze werden aber Abschnitte der Bahn, die Luftblasen von negativer Spannung oder dampferfüllte Räume führen, bei reichlicher Wasserzufuhr aus denselben Gründen, wie ein

solcher Span, sich vollsaugen müssen. Je nachdem ich die negative Luftspannung in den Spänen mehr oder weniger anwachsen liess, hatte ich es in meiner Gewalt, den aufsteigenden Strom entsprechend zu beschleunigen, vorausgesetzt, dass die Tüpfelräume der Spanoberfläche nicht ausgetrocknet waren und somit der Luft den Eintritt noch verwehrten.

Wenn ich die Versuche, wie ich sie zuvor geschildert, mit ⊓-förmig zugeschnittenen, tangentialen Spänen wiederholte, nachdem ich die negative Luftspannung in denselben stark anwachsen liess, so ging auch die seitliche Ausbreitung der Farbstoffe in den breiteren Spantheilen rascher von statten.

Mit Wasser vollgesogene, etwas dickere Späne wurden entsprechend befestigt, und hierauf vorsichtig der oberen Querkante Eosinlösung aufgetragen. Der Span färbte sich rasch in absteigender Richtung, während gleichzeitig eine entsprechende Flüssigkeitsmenge an der unteren Kante hervortrat. Kam dort an einer Stelle früher als an der anderen die Flüssigkeit zum Vorschein, so verbreitete sie sich rasch über die ganze Kante und wurde dann auch wohl von einzelnen Tracheïdenreihen aufgenommen und aufwärts geführt, falls solche durch Verdunstung Wasser eingebüsst hatten. Bei anhaltender Zufuhr von Wasser zu der oberen Kante tropfte dieses alsbald von der unteren Kante ab.

Zu allen diesen Versuchen lässt sich, wie ich nochmals hervorhebe, mit gleichem Erfolge auch frisches Splintholz der Tanne verwenden.

Zahlreiche Versuche stellte ich auch mit frischem und mit in Alcohol aufbewahrtem Holz von Pinus Strobus an, das sich wegen der relativ bedeutenden Dünnwandigkeit seiner Tracheïden, sowie auch in Folge seines regelmässigen Aufbaus, sehr zu den Versuchen eignet. An Pinus Strobus wandte ich mich noch im Besonderen, um das Verhalten der tracheïdalen Markstrahlzellen während des Aufstiegs der Farbstofflösung zu verfolgen. Es zeigte sich, dass die Füllung der tracheïdalen Markstrahlelemente mit der Farbstofflösung sich nur langsam vollzieht. Das hängt zunächst damit zusammen, dass sie in frischem Splintholz sowohl wie in den in Wasser gelegten Spänen des Alcohol-Materials sich ganz mit Wasser angefüllt zeigen. Doch

steigt die Farbstofflösung auch nur langsam, wenn man den radialen Span mit einer Längskante in die Farbstofflösung einsetzt, wo somit der Transpirationsverlust an der Spanoberfläche durch Vermittlung der tracheïdalen Markstrahlelemente gedeckt werden müsste. Dass thatsächlich eine quere Leitung durch Vermittlung dieser Elemente erfolgt, das lehrten radiale Späne, die ich -förmig zuschnitt und Farbstofflösung mit der schmalen unteren Kante aufnehmen liess. Da stieg der Farbstoff zunächst rasch geradlinig in der Verlängerung des unteren, schmalen Stückes bis zur oberen Kante des Spanes empor, verbreitete sich dann aber auch langsam seitlich. Hierzu benutzte er, wie direct controlirt wurde, die tracheïdalen Markstrahlelemente. Von letzteren aus theilte er sich aufwärts und abwärts den angrenzenden Tracheïden mit. Eine rasche Wasserbewegung auf diesem Wege ist aber noch weit weniger möglich, als eine rasche seitliche Bewegung des Wassers durch die Tüpfel in tangentialer Richtung von Tracheïde zu Tracheïde. Das Wasser wird der Längsrichtung der Bahnen gemäss festgehalten und daher auch in dem vorliegenden Falle, nur mit Ueberwindung bestimmter Widerstände, an die tracheïdalen Markstrahlelemente abgegeben. Dass andererseits dann auch letztere ihr Wasser mit einer gewissen Zähigkeit festhalten, und es nicht ohne Widerstand an die Strangtracheïden abgeben, geht aus dem Umstande hervor, dass sie selbst innerhalb wasserarmer Jahresringe noch vollständig mit Wasser angefüllt erscheinen können. — Bei der Fichte giebt Russow hingegen an [1]), die tracheïdalen Elemente der Markstrahlen auf weite Strecken hin mit Luft erfüllt gefunden zu haben. In der That füllen sich bei der Fichte die tracheïdalen Markstrahlelemente früher mit Luft als bei den Kiefern, immerhin traf ich in ihnen auch bei der Fichte Luft erst in Regionen des Holzkörpers an, die bereits ziemlich lufthaltig waren. Dazu kommt, dass die tracheïdalen Markstrahlelemente der Fichte bei weitem hinter denjenigen der Kiefer in ihrer leitenden Aufgabe zurückstehen. Von Anfang an zeigen sie sich durch eingeschaltete lebendige Elemente unterbrochen, sind somit auch von Anfang an nicht

1) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 102.

für Leitung auf grössere radiale Strecken, vielmehr nur für locale Ansprüche, die mit Schaffung neuer Bahnen sich verändern, eingerichtet.

In Spänen aus dem Kernholz der Coniferen stieg die Farbstofflösung um so schlechter, je ausgeprägter diesem Holze die Charaktere von Kernholz zukamen, je mehr somit seine Zellwände mit Harz und anderen Kernstoffen imprägnirt waren, je zahlreichere Hoftüpfel mit Harz erfüllt sich zeigten. Im Kernholz der Lärche war aus diesem Grunde fast gar kein Aufstieg zu beobachten.

Versuche mit Spänen aus verschiedenen dicotylen Hölzern fielen nicht anders als bei Coniferen aus, waren in ihren Ergebnissen meist aber weniger bestimmt, da der Schnitt nothgedrungen zahlreiche Elemente öffnen und beschädigen musste. Ich experimentirte mit Ficus, Acacia, Robinia, Weide, Ahorn, Rosskastanie, Eiche und Rothbuche. Hölzer mit relativ englumigen Gefässen, wie Ahorn und Rothbuche, waren am geeignetsten. Man sieht den Farbstoff in den Gefässen ebenso aufsteigen wie in Tracheïden, nur entsprechend langsamer. Findet das Aufsteigen in einem lufthaltigen Gefässe statt, so geschieht es naturgemäss mit einem Meniscus, der um so flacher erscheint, je weiter das Gefäss ist. Die aufsteigende Bewegung erfolgt meist ruckweise, entsprechend der Abwechslung weiterer und engerer Stellen. Hat man für eine vorhergehende entsprechende Ausfüllung der trachealen Elemente mit Wasser Sorge getragen und bringt dann, während man ihnen Farbstofflösung bietet, die Saugung mit Fliesspapier an, so kann man auch hier die Farbstoflösung an den Luftblasen vorbeifliessen sehen. Es gelingt dies freilich nur bei entsprechender Regulirung der Versuche, welche eine stürmische Bewegung der Luftblasen im Innern der Gefässe ausschliesst. Bei der Weide, die nur relativ weitere, seitlich getrennte Gefässe einer Art als Leitungsbahnen besitzt, ist an entsprechenden Schnitten eine andere Möglichkeit des Aufstiegs als an den innerhalb des tingirten Inhalts zurückgebliebenen Luftblasen vorbei, ausgeschlossen. Würden einzelne Luftblasen, wie man sie innerhalb der thätigen Leitungsbahnen solcher, auf ihre Gefässe allein angewiesenen Hölzer stets vorfindet, den Wasseraufstieg ausschliessen, so wäre es in der That schwer verständlich, wie es solche Hölzer anfangen sollten, um ihren Wasserbedarf zu decken. — In

Eichenholzspänen stieg der Farbstoff gut in den Gefässen und den weiteren Tracheïden, innerhalb der engeren Tracheïden hingegen um so schlechter, je geringer ihr Durchmesser und je spärlicher ihre Tüpfelung war. Es bildeten sich daher innerhalb der Späne gefärbte Längsstreifen aus, welche die Gefässe in sich einschlossen. — In Spänen aus dem Splintholz von Prunus avium stieg die Farbstofflösung, wenn auch nicht gleich rasch, so doch in sämmtlichen Elementen. In Spänen aus Kernholz erfolgte auch hier gar kein Aufstieg.

Erinnern möchte ich an dieser Stelle, wo directe Beobachtungen für eine Bewegung des Wassers in der dünnen Schicht zwischen Luftblasen und Zellwand angeführt werden, dass auch die transpirirenden Aeste, welche in früheren Versuchen flüssige Gelatine aufgesogen hatten, in den erstarrten Gelatinecylindern eingeschlossene Luftblasen zeigten. Da die so injicirten Gefässe auf Querschnitten völlig isolirt sich zeigten, so war die Annahme einer Umgehung der Luftblasen, mit Hilfe angrenzender Elemente, ausgeschlossen.

Der Abschluss der trachealen Bahnen.

Aus dem anatomischen Theil dieser Arbeit geht klar hervor, wie vollkommen der Abschluss der trachealen Leitungsbahnen gegen das luftführende Intercellularsystem und auch gegen die Lumina luftführender angrenzender Elemente ist. Auf den Abschluss gegen die Intercellularen hat bereits v. Höhnel hingewiesen [1]). Dass ein luftführender Intercellularraum, so wie v. Höhnel meint, bei keiner Phanerogamen-Pflanze direct an ein functionirendes Gefäss oder eine functionirende Tracheïde grenzen sollte, trifft freilich nicht zu; es ist dies vielmehr ganz allgemein dort der Fall, wo ein von Intercellularen begleiteter Markstrahl Gefässe oder Tracheïden streift. Es ist aber dafür gesorgt, dass das Gefäss- und Tracheïden-Lumen gegen die Intercellularräume entsprechend abgeschlossen sei, und nie sahen wir von den trachealen Bahnen aus Tüpfel

---

1) Zunächst in: Einige anatomische Bemerkungen über das räumliche Verhältniss der Intercellularräume zu den Gefässen, Bot. Ztg. 1879, Sp. 541.

nach Intercellularen führen. Auch beobachtet man kaum, dass ein luftführender Intercellulargang einer Gefäss- oder Tracheïden-Wandung in der Längsrichtung folge, selbst auch dann nicht, wenn das Holzparenchym in der Umgebung der trachealen Bahn von solchen Intercellularen begleitet wird. Endlich ist es auch eine ganz seltene Erscheinung, dass Intercellularen des umgebenden Grundgewebes direct an die trachealen Elemente der primären Gefässtheile grenzen. Als eine Ausnahme trat uns dies bei einer krautartigen Orchidee entgegen, bei welcher ja aber die Ansprüche an die Leistungsfähigkeit der trachealen Bahnen auch nur sehr gering sind. In der Lamina der Blätter sieht man ebenfalls nur ausnahmsweise Intercellularen direct an ein Gefässbündelende anstossen. Tritt aber ein solcher Fall ein, so wird durch entsprechende Verdickung der trachealen Elemente, oder durch Ausbildung einer zarten Cuticula an der bedrohten Stelle, das Eindringen von Luft erschwert. Im Allgemeinen fanden wir die primären Gefässbündeltheile in den Stamm- und Blattorganen durch „Scheiden" verschiedenen morphologischen Werthes von der Umgebung getrennt und die feinsten Auszweigungen, sowie Enden der Gefässbündel in der Blattspreite von einer Schicht parenchymatischer, lückenlos verbundener Zellen umschlossen. So auch erkannten wir in der mit einem cutinisirten Radialbande versehenen Endodermis der Wurzel eine Schutzvorrichtung gegen das Eindringen von Luft in die trachealen Elemente des Centralcylinders, und lernten bei Selaginella im Umkreis der Stengelstelen eine besondere instructive Modification dieser Einrichtung kennen, in welcher die Endodermis sich gegen weite, angrenzende Intercellularen durch Cutinisirung ihrer Aussenwände schützt.

Es leuchtet ein, dass nur ein fast luftdichter Abschluss der trachealen Bahn gegen Intercellularen und gegen lufthaltige Gewebeelemente das Zustandekommen so hoher negativer Gasspannung in den trachealen Bahnen ermöglichte, wie sie durch v. Höhnel [1]) nachgewiesen wurde [2]).

---

1) Ueber den negativen Druck der Gefässluft, Inaug.-Diss. Strassburg, 1876, und Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 77.

2) Diese negative Spannung der Holzluft war schon Th.

Weitere Beweise für das Vorhandensein negativer Luftspannung innerhalb der trachealen Bahnen transpirirender Gewächse hier beizubringen wäre wohl, nachdem ihre allgemeine Verbreitung durch v. Höhnel begründet wurde, überflüssig; ich beschränke mich daher auf nur einige ergänzende Angaben. In manchen Fällen sah v. Höhnel das Quecksilber in Gefässe, die unter demselben durchschnitten wurden, 50—60 cm hoch aufsteigen. Ich selbst konnte einmal bei Wistaria das Quecksilber in einem Gefäss fast 70 cm weit verfolgen, so dass, da der Zweig beim Durchschneiden scharf umgebogen und fast senkrecht aufwärts gehalten wurde, die Steighöhe mindestens 65 cm Quecksilber betrug, das so injicirte Gefäss somit fast luftleer hatte sein müssen. Der Versuch war Mitte October angestellt worden, an einem hellen Tage bei 10° C. Das Laub an diesem Zweige hatte noch nicht gelitten; derselbe wurde $2^1/_2$ Minuten lang nach erfolgtem Schneiden mit der Schnittfläche unter Quecksilber gehalten. Das Quecksilber stieg, wie oben schon angegeben wurde, bis zu solcher Höhe nur in einem einzigen Gefäss, und auch bei 60 cm Höhe zeigte sich nur dieses eine Gefäss injicirt. Bei 50 cm fand sich das Quecksilber in 3, bei 40 cm in 7 Gefässen. Weiter nahm die Zahl nicht unerheblich zu, machte aber auch an der Schnittfläche selbst nur einen Bruchtheil der sämmtlichen Gefässe aus. Ein am gleichen Tage unter Quecksilber durchschnittener, ca. 1 cm starker Zweig eines nebenan stehenden Kirschlorbeers, sog überhaupt kein Quecksilber in seine Gefässe ein. Hingegen drang das Quecksilber wiederum, wenn auch nur ca. 2 cm hoch, in ziemlich zahlreiche Gefässe eines Ruscus-Zweiges ein, der einer benachbarten Pflanze angehörte.

Da das Quecksilber die Schliesshäute der Tüpfel nicht durchsetzen kann, so geht es auch nicht durch eine geschlossene Scheidewand aus einem Gefäss in ein anderes und gelangt in Coniferenzweigen auch nur in die durch den Schnitt geöffneten Tracheïden.

Den Angaben von v. Höhnel [1]) lässt sich bereits entnehmen, dass die Zahl der injicirten Gefässe nur immer einen Bruch-

Hartig bekannt, vergl.: Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1861, p. 17, und Bot. Ztg. 1863, p. 277.

1) Beiträge zur Kenntniss etc., Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 109.

theil aller vorhandenen beträgt. Hiervon kann man sich bei jedem Versuch überzeugen. Es werden eben, wenn die Pflanze mehr Wasser verbraucht, als ihr die Wurzel nachliefern kann, nicht alle Bahnen gleichzeitig, sondern einzeln nach einander, entleert und damit zeitweilig ausser Thätigkeit gesetzt. Der Umstand, dass in Hölzern mit fortgeschrittener Arbeitstheilung die Gefässbahnen von einander mehr oder weniger getrennt sind, erleichtert die zeitweise Ausschaltung der einzelnen. Wo ein Theil der Gefässe als Wasserbehälter functionirt, wird naturgemäss die Entleerung dieser vorausgehen. Da das Quecksilber in Tracheïden nicht eindringen kann, so geben die Injectionen mit demselben auch keinen Aufschluss über die dort herrschenden Spannungsverhältnisse. Die Anbringung der Tüpfel bei Coniferen nur auf den radialen Wänden der Tracheïden zeugt eben dafür, wie sehr es auch dort darauf ankommt, einzelne Abschnitte der Bahnen gegen die anderen abschliessen zu können. Eine Ausnahme hiervon wird nur im Herbst gemacht, durch Ausbildung der Tangentialtüpfel. Dadurch wird eben, wie nothwendig, die Versorgung der neuen Triebe zu einer Zeit ermöglicht, wo die in denselben mündenden Bahnen nicht bis unten reichen. Die erste Schicht der im neuen Jahresringe erzeugten Tracheïden ist aber bereits ohne Tangentialtüpfel und damit eine Trennung gegen hinzukommende Bahnen bereits vollzogen. Wo die ganze Wasserleitung nur durch eine Art Gefässe zu vollziehen ist, wie bei Albizzien, Acacien, Ficus-Arten und Weiden, werden diese naturgemäss unter einander Verbindung zeigen müssen. Diese haben wir denn auch bei den betreffenden Pflanzen nachgewiesen. Einzelne Complexe müssen aber ebenso sicher von anderen getrennt sein, und fanden wir daher auch, dass Ficus-Arten Einkerbungen so schlecht vertragen. Viel vollkommener erscheint Einem die Einrichtung, wie sie die Eichen etwa aufweisen, wo die Gefässe nach allen Richtungen durch Tracheïden verbunden sind, die mit Hilfe ihrer zahlreichen Verschlüsse die Gefässbahnen leicht isoliren, nach Bedürfniss aber auch verbinden können. So vermochte es dann auch die Eiche, im Gegensatz zu Ficus, selbst sehr zahlreiche Einkerbungen zu überwinden.

Dass auch in Zweigen, die unter Wasser abgeschnitten werden und in Wasser stehen bleiben, ungeachtet sie beim Durchschneiden Wasser einsaugen konnten und dieses ihnen

weiter unbegrenzt zu Gebote stand, einzelne Gefässe negative Gasspannung aufweisen können, hängt, wie schon v. Höhnel zeigte, vornehmlich damit zusammen, dass diese Gefässe durch austretende oder erzeugte schleimige Substanzen verstopft wurden [1]). So stieg denn auch in Zweigen von Acacia floribunda, die von Mittag des einen Tages bis zum Morgen des anderen Tages im Wasser gestanden hatten, das Quecksilber in einzelnen Gefässen der Seitenzweige wohl bis 10 cm hoch, als ich letztere unter diesem durchschnitt. Hatten diese Acacia-Zweige in Eosin-Wasser gestanden, so musste es auffallen, dass die Gefässe, welche das Quecksilber aufsogen, nicht gefärbt waren; dieselben hatten somit an dem Leitungsgeschäft nicht theilgenommen. Dies erklärt vollständig ihr Verhalten. Instructiv war es hier gleichzeitig, zu constatiren, dass ein negativer Druck in einzelnen Gefässen auch solcher Seitenzweige herrschen konnte, die ich Tags zuvor zurückgeschnitten, die somit an ihrem oberen Ende offen waren. Da mochten zum Theil ebenfalls Verschlüsse durch Verstopfung, zum Theil aber auch selbstthätige Verschlüsse durch Hoftüpfel im Innern der Gefässe im Spiele gewesen sein. So auch konnte ich in einem 3 m langen stark belaubten Aste von Vitis Labrusca, der des Morgens unter Wasser abgeschnitten, bis 4 Uhr Nachmittags in demselben gestanden hatte, und der alsdann in halber Länge unter Quecksilber durchschnitten wurde, das Quecksilber nach beiden Richtungen hin, in einer Anzahl von Gefässen, bis 30 cm, in vereinzelten selbst bis 40 cm verfolgen.

Zum Theil wohl auch auf Schleimverschluss, vornehmlich aber auf selbstthätigem Hoftüpfelverschluss beruht es, dass Zweige, die frei an der Luft gelegen haben, unter Quecksilber durchschnitten, dasselbe in einzelne Leitungsbahnen einsaugen. So erklärt es sich, dass v. Höhnel [2]) das Quecksilber 6 cm hoch in Gefässen eines Zweiges von Tilia argentea aufsteigen sah, der $^3/_4$ Stunden an der Luft gelegen und dann 7,5 cm über der Schnittfläche durchschnitten wurde. Bei der Eiche drang das Quecksilber sogar 10 cm hoch in einzelne Gefässe eines Zweiges ein, der 5 Stunden lang an der Luft gelegen hatte

1) Ueber die Ursache der raschen Verminderung der Filtrationsfähigkeit von Zweigen für Wasser, Bot. Ztg. 1879, Sp. 318.

2) Ueber den negativen Druck der Gefässluft, p. 20.

und den v. Höhnel um 15 cm höher unter Quecksilber durchschnitt.

Während des Winters fand v. Höhnel fast gar keinen oder doch nur einen geringen negativen Druck in den Gefässen der Bäume, die er untersuchte [1]). In der That sind ja die Bäume zur Winterzeit, bei nasser Witterung mit Wasser überfüllt, und bei sehr verminderter Transpiration das Zustandekommen eines negativen Luftdruckes in den Gefässen alsdann ausgeschlossen. Anders fallen die Versuche nach lang anhaltendem Kahlfrost, verbunden mit sonnigem Wetter aus; manche, vornehmlich immergrüne Pflanzen können bei solchem Wetter sogar vertrocknen.

Auffallend war es mir, in den primären Gefässtheilen der Wurzel auch zur Zeit kräftigster Vegetation entweder gar keinen oder einen nur sehr schwachen Quecksilberaufstieg zu erhalten. Da ich auch zahlreiche Wurzeln mit weiten Gefässen auf ihr Verhalten prüfte, so konnte nicht die capillare Depression allein Ursache dieser Befunde sein. Es sind vielmehr, wie ja auch die mikroskopische Untersuchung lehrte, die primären Gefässtheile der Wurzel fast vollständig mit Wasser angefüllt und mögen nur unter besonders ungünstigen Verhältnissen ihr Wasser einbüssen. Selbst in einem Boden, der für das Gefühl fast trocken erschien, sogen Wurzeln von Helianthus annuus und Canna indica kein Quecksilber ein. Ebensowenig drang es in frei abwärts hängende Luftwurzeln von Philodendron- und Anthurium-Arten ein. In solchen Luftwurzeln, die den Boden erreicht und in demselben sich verzweigt hatten, erhielt ich zum Theil Aufstiege bis zu 1 cm. Aehnlich erging es mir mit Wurzeln von Chamaedorea. Luftwurzeln von Orchideen sogen das Quecksilber in keinem einzigen Falle ein. Kräftige Luftwurzeln von Dracaenen, ob noch frei in der Luft hängend oder im Boden befestigt, nahmen auch nur sehr wenig Quecksilber auf. Nicht stärker war auch die Aufnahme in die Bodenwurzeln einer Dracaena fragrans, die ich vorsichtig aus dem Topf hob und stellenweise von Erde befreite, ebenfalls nicht stärker in die Wurzeln eines Topfexemplares von Acacia floribunda, ungeachtet die Erde sich ziemlich trocken anfühlte. Wo in den primären Gefässen der von mir untersuchten Wurzeln vorhanden, konnte

---

1) Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 115 ff.

somit der negative Druck nur sehr schwach gewesen sein, denn er reichte nicht aus, um die capillare Depression selbst relativ weiter Gefässe zu überwinden. Bei Dracaena fragrans blieb auch der secundäre Zuwachs der Wurzel von Quecksilber frei, was ja auch unter allen Umständen nicht anders sein konnte, da er nur aus Tracheïden besteht. Hingegen wurde der secundäre, gefässhaltige Zuwachs dicotyler Wurzeln nicht selten stark injicirt. Es geschah dies beispielsweise bei demselben Exemplar von Helianthus annuus, dessen primäre Gefässtheile frei von Quecksilber blieben, in einer Anzahl von Gefässen bis 10 cm hoch.

Die Versuche von v. Höhnel [1]) haben auch auf umgekehrtem Wege gezeigt, dass es sehr starken Druckes bedarf, um Luft durch die Wandungen der Gefässe in deren Inneres zu pressen. An Zweigstücken von Prunus Padus [2]) trat Luft erst in die Gefässe ein, als der negative Druck 70 cm Quecksilber erreichte, und hörte auf, wenn dieser Druck unter 67 cm fiel. Für Zweigstücke von Syringa [3]) ergab sich als Diffusionsgrenze 61 cm Quecksilber, für Juglans regia [4]) 68 cm u. s. w. „Es erscheint daher", schreibt v. Höhnel, „die Vorstellung des Gefässes als einer allseitig geschlossenen Röhre, durch deren Wandung Luft erst unter einem hohen Aussendruck in grösseren Mengen zu diffundiren vermag, vollkommen gerechtfertigt" [5]).

Sollen die Versuche rasch den von v. Höhnel angegebenen Erfolg haben, so müssen kurze Zweigstücke zu denselben benutzt werden. Operirt man mit längeren Zweigstücken, so gilt es, dieselben erst sehr lange auszupumpen, da man sonst viel zu niedrige Werthe erhält. Dieses Auspumpen muss unter Umständen tagelang dauern. Auch hierauf ist bereits durch v. Höhnel hingewiesen worden [6]). Ich kann hinzufügen, dass aus dem Splint der Coniferen die ganze Luft auszupumpen, fast ein Ding der Unmöglichkeit ist, da eine grössere Anzahl mit Wasser erfüllter Hoftüpfelräume auch bei vollem atmosphäri-

1) Beiträge zur Kenntniss etc., Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 61.

2) l. c. p. 63.

3) l. c. p. 69.

4) l. c. p. 69.

5) l. c. p. 65.

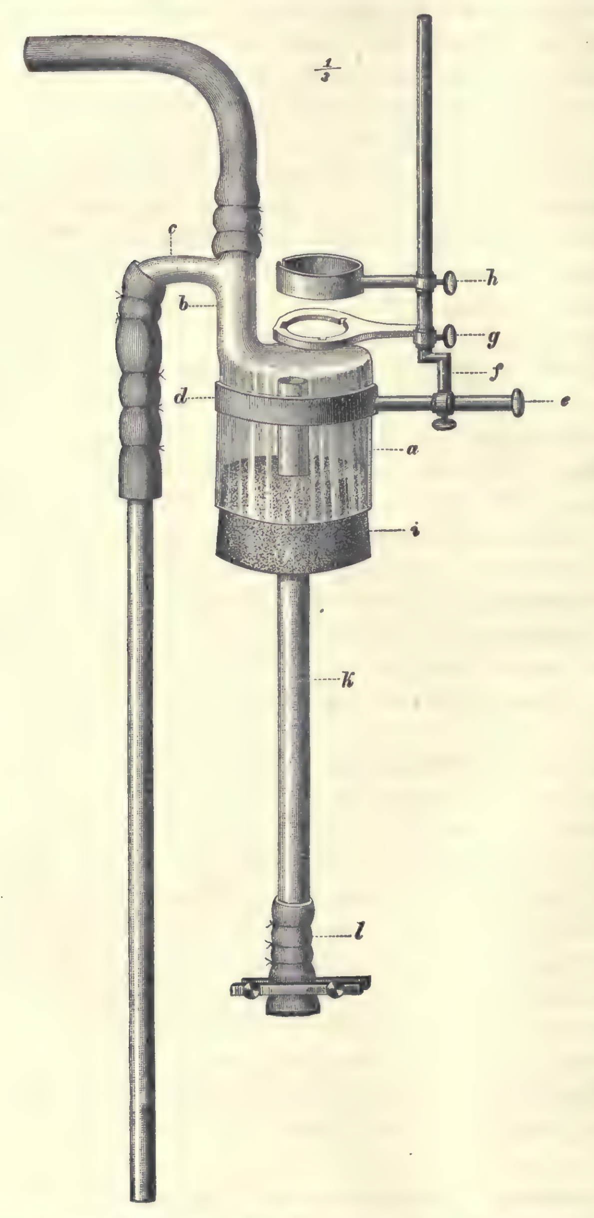
6) l. c. p. 64.

schen Druck Luft nicht mehr durchlässt. Ein solches Holzstück dann nur auf dem Wege langsamer Diffusion und Absorption der Gase, etwa mit Hilfe von luftfrei ausgekochtem, wiederholt gewechseltem Wasser luftfrei gemacht werden. Ich zog es vor, wo es mir darauf ankam, Coniferenholz vollständig mit Wasser zu injiciren, dieses durch tagelang anhaltendes Kochen zu erreichen. Ebenso wird es nicht leicht, ja zum Theil nicht möglich sein, die Luft zu evacuiren aus den durch Hoftüpfel abgeschlossenen Tracheïden der Dicotylen und Monocotylen, und in manchen Fällen auch nicht aus entfernteren Theilen eines durch zahlreiche capillare Verschlüsse isolirten Abschnittes eines an sich schon engen Gefässes. — Ein sehr enges Röhrchen mit acht Verengungen, welche das Wasser festhielten, schloss in den Jamin'schen Versuchen[1]) hermetisch ein Barometerrohr an dessen oberem Ende ab und konnte selbst einem Druck von zwei Atmosphären Widerstand leisten. — Der Saugung zugänglich bleiben aber alle weiteren, nicht durch wiederholte Verschlüsse unterbrochenen Gefässe, bei den meisten dicotylen Hölzern somit weite Strecken der vorhandenen Wasserbahn.

Die Versuche, welche ich anstellte, um den Widerstand der Gefässwände gegen eindringende Luft zu messen, bestätigten die v. Höhnel'schen Angaben. — Ich führte die betreffenden Versuche mit einem kleinen Apparate aus, den mir Herr Franz Müller (Geissler's Nachfolger) hierselbst, nach meinen Angaben anfertigen liess. Dieser Apparat, den der umstehende Holzschnitt in Drittelgrösse zeigt, besteht aus einem 6 cm weiten und 6 cm hohen, an einem Ende verschlossenen Glascylinder (*a*), der an dem einen Rande des geschlossenen Endes in ein 1,2 cm weites, 8 cm langes Rohr (*b*) ausläuft, dem in halber Höhe ein anderes ebenso weites, alsbald sich abwärts wendendes Rohr (*c*) rechtwinklig entspringt. Um den 6 cm weiten Glascylinder ist ein doppelter Metallring (*d*), der innere fest, der äussere um den inneren beweglich, angebracht. Der äussere bewegliche Ring trägt einen wagerechten Metallstab (*e*), an welchem, mit Ring verschiebbar, der senkrechte, von unten mit Schraube zu fixirende Metallstab (*f*) befestigt ist. An diesem Stab sind endlich wiederum zwei wagerechte verschiebbare und drehbare, anderer-

1) Mémoire sur l' équilibre et le mouvement des liquides dans les corps poreux, Comptes rendus, T. L, p. 175.

seits mit Schrauben fixirbare Metallstäbe (*g* u. *h*) angebracht, von welchen der untere einen ringförmigen Lupenhalter, der



obere eine zur Aufnahme des Mikroskoptubus bestimmte Hülse trägt. Die untere Oeffnung des Glascylinders (*a*) verschliesst

ein durchbohrter Gummipfropfen (*i*), durch welchen der zu untersuchende Zweig (*k*) mit seinem Ende durchgesteckt wird. Das Zweigende hat so weit hinaufzureichen, dass man es durch das annähernd plane Ende des Glascylinders bequem mit der Lupe oder einer stärkeren Vergrösserung des Compositums beobachten könne. Das obere Ende des dem Rande des Glascylinders entspringenden Glasrohrs (*b*) wird durch einen dicken, nicht zusammendrückbaren Gummischlauch mit der Wasserstrahlluftpumpe, das seitlich aus diesem Rohr hervorgehende, abwärts gebogene Rohr (*c*) durch kurzen Gummischlauch mit einem 1 m langen Glasrohr, das mit seinem unteren Ende in Quecksilber taucht, verbunden. — Der Glascylinder (*a*) wurde bei den Versuchen etwas schräg gestellt, so zwar, dass sein mit dem Rohr (*b*) versehener Rand den höchsten Punkt bildete. Die aus dem Querschnitt des Zweiges tretenden Luftblasen konnten auf diese Weise gleich schräg aufwärts nach diesem Rohr entweichen, ohne sich in dem oberen Theile des Cylinders anzusammeln und die Beobachtung zu stören. Alle die in Untersuchung genommenen Zweige wurden auf der ganzen Strecke, die sich im Glascylinder und dem Gummipfropf befand, entrindet, damit nicht die schon bei geringer Saugung durch die Rinde eintretende Luft den Versuch störte. Das den ganzen Apparat füllende Wasser empfahl es sich, durch vorausgehendes, lang anhaltendes Kochen zunächst von aller Luft zu befreien.

Zu den Versuchen, die ich zuerst ausführte, dienten zum Theil ganz frisch geschnittene Zweige, zum Theil ebenfalls frisch geschnittene, 25 cm lange und ca. 1,5 cm dicke Zweigstücke, die an ihrem ausserhalb des Apparates befindlichen Ende mit einer Gummikappe (*l*) luftdicht verschlossen waren. Der berindete Theil, über welchen die Zweigstücke zur Luftaufnahme aus der Umgebung frei verfügten, betrug ca. 15 cm. Die ganzen Zweige wurden auf das sorgfältigste durchmustert, ob sie an allen Punkten intact seien.

Ein Stück eines vierjährigen Robiniazweiges, aus welchem ich erst 12 Stunden lang, bei voller Saugung, die vorhandene Luft annähernd entfernt hatte, liess Luftblasen aus den grossen Gefässen des letztjährigen Zuwachses erst treten, wenn die Saugung 69 cm Quecksilber betrug und hörte bei ca. 67 cm auf. — Ein belaubter kurzer Zweig von Wistaria sinensis verhielt sich

ganz ebenso. Auch diesen befreite ich zunächst durch halbtägige Saugung von der in seinem Holzkörper vorhandenen Luft, um aber zu verhindern, dass er währenddem welke, tauchte ich ihn vollständig, bis an den Apparat heran, in eine Tonne mit Wasser ein.

Aus einem Zweigstücke von Ficus elastica kamen, nachdem dasselbe zuvor von Luft befreit worden war, bei 72 cm Quecksilber Luftblasen aus unzählbaren, bei 68 cm aus 5, bei 65 cm aus 4 Gefässen, bei 63 cm aus einem Gefäss hervor.

Aus einem Zweigstück der Eiche trat, nach erfolgtem Auspumpen, die Luft bei 65 cm Quecksilberstand aus einigen wenigen, bei 68 cm aus zahlreichen grossen Gefässen; bei 70 cm stellte sich das Maximum der Wirkung ein. Ich liess Zweigstücke 12 Stunden lang im Apparat und wiederholte hierauf die Versuche. Zu Beginn derselben trat Luft aus den Gefässen schon bei schwächerer Saugung hervor, bald stiegen aber die Werthe wieder auf die Höhe des vorhergehenden Tages.

Ein entlaubter Ahornzweig, im December zu den Versuchen verwandt, liess, nachdem 12 Stunden lang ausgepumpt worden war, Luftblasen aus seinen Gefässen erst austreten, wenn die Saugung bis auf 70 cm Quecksilber gesteigert wurde. Der Luftaustritt hörte bei Herabsetzung des negativen Druckes erst bei 65 cm ganz auf. Am folgenden Tage, bis zu welchem der Zweig im Apparat gelassen wurde, traten, zu Beginn des Versuches, aus einem Gefäss die Luftblasen schon bei 60 cm hervor, aus zahlreichen Gefässen aber, wie Tags zuvor, erst bei 70 cm. — Ein anderer eben solcher Ahornzweig wurde, bis an den Apparat heran, in eine Tonne mit Wasser getaucht, und blieb nach vollständigem Auspumpen der Luft noch 24 Stunden in derselben. Als nunmehr die Saugung von neuem angesetzt wurde, trat überhaupt keine Luft aus den Gefässen hervor. Dies geschah erst nach mehreren Stunden, als der Zweig an seiner Oberfläche abgetrocknet war. Augenscheinlich hatte das Wasser die Lenticellen verstopft und wurde ein Einsaugen von Luft durch dieselben erst möglich, als sie sich von diesem Wasser befreit hatten. Die Saugung musste ich auch jetzt bis auf 70 cm Quecksilber steigern; bei langsamer Herabsetzung des negativen Druckes hielt der Luftaustritt aus einigen Gefässen, stetig verlangsamt, bis 66 cm an. Dieses Verhältniss veränderte sich nicht wesentlich nach 12 Stunden, während

welcher Zeit der Zweig mit dem Apparat in Verbindung gelassen worden war.

Um ein 25 cm langes, 1,5 cm dickes Zweigstück der Linde auszupumpen, reichen auch 48 Stunden nicht aus. Das Zweigstück tauchte während der ganzen Zeit vollständig in ausgekochtes Wasser, so dass alle entweichende Luft aus dem Zweigstück selbst stammen musste. Sogar nach 48 Stunden war der Luftaustritt nicht ganz sistirt, wenn auch schliesslich nur noch schwach. Die Entfernung des Wassers hatte nach einiger Zeit eine wesentliche Steigerung des Luftaustritts aus den Gefässen zur Folge. Wurde durch Herabsetzung der Saugung der Luftaustritt unterbrochen, so stellte er sich jedesmal erst bei 68 cm Quecksilber wieder ein. Bei 70 cm Quecksilber war das Maximum des Luftaustritts erreicht. Bei Zurückdrehung der Wasserleitung hörte aller Luftaustritt bei ca. 67 cm auf.

Ebenso lange wie das Auspumpen eines Lindenzweiges dauerte auch dasjenige eines Birkenzweiges. Als dasselbe gelungen war, musste, wie bei anderen dicotylen Hölzern, der negative Luftdruck bis auf 68 cm Quecksilber gesteigert werden, um Luftaustritt aus den Gefässen zu veranlassen.

Ein Zweigstück des Birnbaums zeigte, nach vorausgegangener längerer Saugung, Luftaustritt aus den Gefässen erst oberhalb 67 cm Quecksilber, verhielt sich somit auch nicht anders wie die zuvor untersuchten Hölzer.

Bei allen diesen Saugversuchen an dicotylen Hölzern zeigte die Betrachtung des Querschnitts, dass Gefässe von gleichem Durchmesser sich vielfach nicht gleich verhielten, und dass aus der Mehrzahl der Gefässe überhaupt kein Luftaustritt zu erlangen war. Das hängt keinesfalls mit einer verschiedenen Durchlässigkeit der Wände bei den einzelnen Gefässen zusammen, wohl aber, abgesehen von etwaigen inneren Hindernissen, mit den grösseren oder geringeren Widerständen, welche die Luft zu überwinden hat, um bis an die Gefässwandung zu gelangen. In der häufigen Bevorzugung peripherischer Gefässe für den Luftaustritt findet diese Beziehung ihren einfachsten Ausdruck.

Aus dem Holzkörper von Zweigen und Zweigstücken der Coniferen trat nach einiger Zeit, selbst bei voller Saugung, keine Luft mehr aus. Dieser Zeitpunkt entsprach dem Augenblicke, in welchem alle Hoftüpfelräume bis auf einige Entfernung

vom Querschnitt, capillar mit Wasser verstopft waren. Soweit es zunächst überhaupt gelang Luftblasen bei Tsuga canadensis aus dem Holzkörper herauszubringen, geschah dies nur bei voller Saugung, die 74 bis 75 cm Quecksilber entsprach. Es traten die Luftbläschen alsdann deutlich aus den Frühlingstracheïden und der Markkrone hervor. — Aus einem 15 cm langen, 2 cm dicken Aststücke von Taxus baccata, das innerhalb des Apparates entrindet, ausserhalb desselben an seinem Ende mit Kappe verschlossen war, kamen bei voller Saugung fort und fort grosse Mengen Luft aus dem Kern hervor. Es setzte sich dieser Kern daher bald gegen den Splint, aus welchem der Luftaustritt immer schwächer wurde, deutlich ab. Nach einer, eine Stunde lang anhaltenden Saugung trat aus dem Splint überhaupt keine Luft mehr hervor, während der Kern wie zuvor reagirte. Der Quecksilberstand betrug 75 cm. — Der Luftaustritt aus dem Kern wurde ebenfalls rasch reducirt, als auch der ausserhalb des Apparates befindliche Theil des Zweigstückes entrindet und die Kappe wie zuvor wieder aufgesetzt wurde. Nach Ablauf von zwei Stunden gaben dann nur noch vier Stellen im Kern, zwei stärker und zwei schwächer, Luftblasen ab.

Aus einem 25 cm langen, 2 cm dicken Stammstück von Dracaena fragrans, das am unteren Ende luftdicht verschlossen, am oberen bis auf den secundären Zuwachs entrindet worden war, trat, nach zwölfstündiger Saugung, Luft nur noch aus einer Anzahl innerer primärer Gefässbündel und den Intercellularen des Grundgewebes, und zwar in nicht eben erheblichen Mengen, hervor. Der Luftaustritt hörte beim Zurückschrauben der Wasserleitung auf, sobald der negative Druck unter 68—69 Quecksilber fiel. Aus den Gefässbündeln des secundären Zuwachses trat überhaupt keine Luft hervor, was sich daraus erklärt, dass diese nur dickwandige, den Coniferentracheïden im Bau entsprechende Tracheïden führen. Die Untersuchung der inneren Gefässbündel nach Schluss des Versuches zeigte auch in diesen nur die langen primären Gefässtracheïden und Gefässe, nicht die Tracheïden mit Luft vollgesogen. Da nun auch die Gefässtheile der primären Gefässbündel der Dracaenen an ihrem unteren Ende in behöft getüpfelte Tracheïden als einzige Verbindungsglieder auslaufen, so kann sich auch in ihnen die Saugung nicht weit nach abwärts fortpflanzen, und müssten somit die am Querschnitt Luft abgebenden Gefässbündel, die-

selbe erst in den oberen Theilen ihrer Bahn aufgenommen haben.

Ich versuchte nun umgekehrt, ob es nicht möglich sein würde, die in den Gefässen enthaltene Luft durch die Lenticellen nach aussen zu saugen. Als Versuchsobjecte bewährten sich hierbei am besten Birnbaumzweige, so dass ich mich an diese hier ausschliesslich halten will. Im Gegensatz zu den früheren Versuchen entfernte ich jetzt von dem ausserhalb des Apparates befindlichen Stück des Zweiges die Rinde und liess es offen; das im Apparat befindliche Stück behielt seine Rinde und wurde luftdicht am Querschnitt verschlossen. Um eine grössere Beobachtungsfläche zu erlangen, benutzte ich jetzt einen ebenso gebauten, doch zweimal längeren Apparat wie zuvor. — Es wurde sofort mit voller Saugung eingesetzt. Die aus den Lenticellen reichlich austretende Luft musste zunächst zum grössten Theile aus der secundären Rinde stammen. Der Luftaustritt dauerte also, wenn auch mit merklicher Abnahme, viele Stunden fort. Hierauf wurde die Wasserleitung geschlossen und damit die Lenticellen injicirt. Das hatte zur Folge, dass aller Luftaustritt aus denselben, auch bei voller Saugung, unterblieb. Hierauf stellte ich den Controlversuch an, indem ich das Zweigstück umkehrte. Jetzt war der entrindete offene Theil von Wasser umgeben im Innern des Apparats, der berindete abgeschlossene Theil draussen. Grosse Massen von Luft traten aus den Gefässen gleich bei beginnender Saugung hervor; die Gefässe hatten sich also mit Luft ganz angefüllt. Selbst nach dreistündiger Saugung strömte Luft, wenn auch in nur geringeren Mengen, vornehmlich aus den äusseren Jahresringen hervor. Nach vierstündiger Saugung war bereits ein negativer Druck von über 65 cm Quecksilber für den weiteren Luftaustritt nothwendig. Jetzt wurde das Zweigstück nochmals umgekehrt und in dieselbe Lage wie bei dem ersten Versuch gebracht. Wiederum trat Luft aus den Lenticellen hervor. Mit der Lupe liess sich constatiren, dass sich die Lenticellen mit Luft zunächst füllten, diese Luft hierauf sich blasenförmig vorwölbte und die Blase sich schliesslich ablöste. Der Luftaustritt war in diesem Versuch viel spärlicher und langsamer als im ersten. Eine vorübergehende Herabsetzung der Saugung hatte eine sofortige Verstopfung der Lenticellen wieder zur Folge, so dass keine Luft weiter aus denselben entwich.

Noch ein weiterer Versuch ganz entsprechender Art wurde mit einem Stück Birnbaumzweig angestellt, bei welchem die Saugung möglichst lange andauern sollte, um jede Möglichkeit auszuschliessen, dass die aus den Lenticellen austretende Luft doch nur etwa einen Luftvorrath der Rinde repräsentire. So wurde denn dieses Mal anderthalb Tage bei vollem Druck gesogen, und die Luftmengen, welche aus den Lenticellen in den Apparat entwichen, blieben sich trotzdem gleich. Hierauf wurde das ausserhalb des Apparates befindliche, untere, offene Zweigstück bis an den Apparat heran in Wasser gesetzt, so dass dieses Wasser durch den unteren Querschnitt aufgesogen werden konnte. Jetzt musste die den Gefässen entzogene, zu den Lenticellen hervortretende Luft durch Wasser ersetzt werden und der Luftaustritt aus den Lenticellen schliesslich aufhören. So geschah es auch. Da aber die Luftmengen, die aus den Lenticellen hervorströmen können, immerhin nur gering sind, so erfolgte auch die Wasserentnahme aus den Gefässen nur langsam, und dauerte es ca. 4 Stunden, bis dass jeder weitere Luftaustritt aus den Lenticellen unterblieb.

Ich machte den Versuch, direct die Wege zu markiren, welche der Luftstrom zurücklegt, um von aussen durch die Rinde in die Gefässe zu gelangen. Diese Versuche fielen nur halb befriedigend aus. Die verhältnissmässig besten Erfolge erzielte ich mit Bromdämpfen, zunächst bei Robinia. Unten hermetisch verschlossene und berindete, soweit im Apparat befindlich entrindete und offene Zweigstücke von Robinia wurden mit dem ganzen, ausserhalb des Apparates befindlichen Theile in einen Glascylinder gesteckt, der einige Centigramm Brom an seinem Grunde führte und mit Bromdämpfen daher ganz erfüllt war. Nach mehrstündiger Saugung zeichneten sich die Lenticellen innerhalb tangentialer Schnitte der Rinde als braune Flecke aus, und war auch eine deutliche, wenn auch nicht kräftige Färbung der grossen Gefässe des letzten Jahresringes zu constatiren. Die Holzfasern zwischen den Gefässen waren dabei völlig ungefärbt geblieben. — Eine Möglichkeit, mit Hilfe des Bromeingriffes die Stellen der Gefässwand näher zu bestimmen, an welchen die Einsaugung erfolgt, war aber auch in diesem günstigsten Falle nicht gegeben. Ich musste mich mit dem Resultate begnügen durch die Braunfärbung den directen Nach-

weis des Eindringens eines Gases in die Gefässe durch Vermittlung der Lenticellen überhaupt erbracht zu haben.

Versuche, die Bahnen des Gaseintrittes etwa mit Farbstofflösungen zu bezeichnen, bei der Annahme, dass diese die nämlichen Wege wie der Gasstrom einschlagen würden, mussten, wie ja von vornherein vorauszusehen war, an der Unwegsamkeit der Lenticellen für Flüssigkeiten scheitern.

Fragen wir uns aber, da die experimentellen Belege versagen, welche Stellen es wohl sein dürften, an welchen die Luft unter so hohem Druck durch die Gefässwandung diffundirt, so weisen die anatomischen Befunde zunächst auf die Orte hin, an welchen die Gefässwand die Markstrahlintercellularen streift. In bestimmten Fällen wäre es auch möglich, dass die Gefässe aus lufterfüllten Elementen schöpften, mit denen sie ja durch vereinzelte enge Tüpfel verbunden sein können.

In allen meinen Versuchen, so wie den v. Höhnel'schen, zeigte es sich aber übereinstimmend, dass ein rasches Eindringen von Luft in die Gefässe nur dann erfolgt, wenn der Druckunterschied zu beiden Seiten ihrer Wandung fast eine volle Atmosphäre beträgt. Fast macht es den Eindruck einer directen Anpassung, dass die Widerstände, welche die Wände der trachealen Bahnen einem raschen Durchgang der Luft entgegensetzen, mit den grössten Druckunterschieden annähernd zusammenfallen, die für dieselben in Betracht kommen können.

Andererseits gelangte aber v. Höhnel auch zu dem Ergebniss, dass schon „bei geringerem Druck Luft in merklichen Mengen in die Gefässe zu dringen im Stande ist“ [1]). Ein Versuch, den er mit Syringa anstellte, überzeugte ihn, dass selbst bei einem Druck von 10 cm und weniger, Luft durch Diffusion aus der Rinde in die Gefässe dringt, aber nur in sehr geringen Mengen. Der Versuch ergab zugleich „die Möglichkeit, dass selbst bei schwacher Transpiration negative Luftdrucke in den Gefässen, wofern sie nicht höher als höchstens 20—30 cm sind, und sofern in den Gefässen noch aufsaugbares, flüssiges Wasser enthalten ist, selbst Wochen lang erhalten bleiben können“. — Der wechselnde Luftgehalt, der uns in den trachealen Bahnen aller untersuchten Holzpflanzen entgegengetreten ist, mag auf

1) l. c. p. 75.

solche langsame Diffusion zurückzuführen sein, zum Theil aber auch auf Luft, die aus dem beförderten Wasser bei vermindertem Drucke ausgeschieden wurde. Die Abnahme von Luft in den trachealen Bahnen mag auf den entgegengesetzten Vorgängen beruhen.

Die Frage, ob Luft durch feuchte oder trockne Membranen sich rascher bewegen kann, hat für die uns beschäftigenden Fragen nur untergeordnete Bedeutung, da die in der Wasserleitung noch thätigen Bahnen factisch stets imbibirte Wände besitzen. Ueber einige diesbezügliche Versuche will ich hier immerhin berichten. Es handelt sich bei denselben nur um den raschen Durchgang von Luft durch die Gefässwandungen unter starkem Druck, und nicht um eine langsame Diffusion. Da die Membranen der noch thätigen trachealen Bahnen imbibirt sind, kann es sich auch bei dem raschen Durchgang von Luft durch dieselben nicht um einen Filtrationsvorgang, sondern um einen osmotischen Vorgang, um Gasdialyse handeln. Daher für uns die Frage dahin zu formuliren ist, ob die Diffusion der Luft durch eine imbibirte, oder die Filtration durch eine trockne Wandung der trachealen Bahnen rascher erfolge. Ich darf annehmen, dass die Luft nur e i n e Gefässwandung passirt, um aus dem Intercellulargang in das Gefäss zu gelangen, wodurch die von mir in den einzelnen Versuchen gewonnenen Werthe vergleichbar werden.

Dasselbe Stück Ahornast, das frisch zu dem zuvor beschriebenen Versuche gedient hatte, wurde gleich darauf in Alcohol gelegt, nach 8 Tagen aus demselben herausgenommen und an der Luft in einem geschlossenen Raume langsam getrocknet. Nach 14 Stunden kam dieses Zweigstück, nachdem es lufttrocken geworden, in den Apparat. Die ausserhalb des Apparates befindlichen Enden habe ich, wie in dem ersten Versuche, luftdicht verschlossen. Ich pumpte die Luft aus, ohne Wasser in den Apparat einzugiessen, damit dieses nicht in das Holzstück eingesogen werde. Das für den Quecksilberaufstieg bestimmte Rohr tauchte aber ins Wasser, so dass dieses rasch den Apparat füllte. Im nächsten Augenblick wurde das Rohr in das unter dem Wasser befindliche Quecksilber getaucht. Ungeachtet die Wasserstrahlpumpe auf volle Saugung eingestellt war, gelang es nicht, das Quecksilber im Rohr über 63 cm zu

heben, und so blieb es auch nach 5 Stunden. Die dem Querschnitt entströmende Luftmenge nahm während dieser Zeit nicht ab, ja es machte fast den Eindruck, als hätte dieselbe noch zugenommen. — Hierauf wurde das ganze, ausserhalb des Apparates befindliche Stück des Versuchszweiges in einen mit Bromdämpfen erfüllten Cylinder eingesenkt. Als nach 1 Stunde der Versuch unterbrochen und das Zweigstück zergliedert wurde, zeigten sich die Gefässe des Holzkörpers, dessen innerste Jahresringe ausgenommen, deutlich gebräunt. Nur das innerste Dritttheil des Holzkörpers blieb dem Einflusse der Bromdämpfe entzogen. Risse in dem betreffenden Zweigstück waren anatomisch nicht nachzuweisen, hätten auch nicht eine so gleichmässige Bromfärbung der Gefässe in der ganzen betroffenen Holzmasse veranlassen können. Für das Vordringen des Broms auf normalen Wegen sprach auch in entscheidender Weise der Umstand, dass nur die Gefässe, nicht die Holzfasern gefärbt waren.

Aus diesen Versuchen ging ganz unzweideutig hervor, dass die Luft leichter durch die trockne als durch die imbibirte Gefässwandung bei Ahorn sich bewegt.

Ein in derselben Weise wie das vorhergehend behandelte und getrocknete Stück eines Eichenzweiges liess ein Aufsteigen des Quecksilbers bis auf 71 cm zu. Nach zehnstündigem Saugen war der Luftaustritt aus den Gefässen noch ebenso stürmisch wie zu Anfang. Bei sehr vorsichtigem Herabsetzen der Saugung nahm der Luftaustritt alsbald zwar ab, doch entströmte Luft auch bei 50 cm Quecksilberstand noch zahlreichen Gefässen. Bei 40 cm kam Luft noch aus ca. 25, bei 30 cm noch aus 7 Gefässen hervor und hörte erst bei 25 cm ganz auf.

Ein ganzer Ahornast, der auch zu früheren Versuchen gedient hatte, blieb 6 Wochen lang in einem geschlossenen Raume liegen, in welchem er langsam austrocknete. Aus diesem Zweig wurde nun ein 25 cm langes Stück nahe der Basis herausgeschnitten und zu einem ebensolchen Versuch wie die vorhergehenden verwandt. Bei voller Saugung stieg das Quecksilber bis 72 cm. Gesogen wurde von 8 Uhr Morgens bis 5 Uhr Nachmittags. Bis zuletzt traten grosse Luftmassen aus den Gefässen, besonders den peripherischen, hervor. Bei sehr langsamer Herabsetzung der Saugung hielt der Luftaustritt lange an. Bei 15 cm Quecksilber kam Luft noch aus 12 peripherischen Gefässen hervor, und hörte erst bei 10 cm die Aus-

strömung vollständig auf. Jetzt wurde von neuem volle Saugung angesetzt, der Zweig aber zugleich bis an den Apparat heran in Eosin-Wasser getaucht. Die ausströmende Luftmenge nahm jetzt rasch ab. Um 8 Uhr Abends, also nach 3 Stunden, hörte jede Ausströmung bei geringem Zurückschrauben auf und stellte sich erst oberhalb 68 cm wieder schwach ein. Die vor dem Einsetzen in Eosin-Wasser den Zweigen in Massen entströmende Luft musste somit von aussen kommen. Auch nach dreistündigem Saugen trat aber kein Farbstoff, auch nicht einmal in die Rinde des Zweiges ein und zeigte sich das Holz mit Wasser nicht injicirt. Ein weiteres Vordringen des Wassers war also auch nicht durch die Lenticellen der todten Rinde möglich gewesen.

Aus einem Birkenzweige, der auch schon frisch zum Versuch gedient hatte und durch sechswöchentliches Liegen an der Luft trocken geworden war, schnitt ich ebenfalls ein 25 cm langes Stück nahe der Basis heraus und behandelte es wie im vorhergehenden Falle. Die volle Saugung liess auch hier ein Steigen des Quecksilbers bis auf 72 cm zu. Der Versuch dauerte von 8 Uhr Morgens bis 5 Uhr Nachmittags, und bis zuletzt entströmten grosse Luftmengen dem Holzkörper. Bei vorsichtiger Herabsetzung der Saugung blieb bei 40 cm Quecksilber noch ein sehr starker Luftaustritt erhalten. Bei 20 cm Quecksilber kam Luft noch aus 12 Gefässen, ja selbst bei 10 cm Quecksilber noch aus 10 Gefässen hervor. Erst nach voller Abstellung der Saugung hörte der Luftaustritt ganz auf. Jetzt wurde der Zweig bis an den Apparat in Eosin-Wasser getaucht und die volle Saugung wieder angesetzt. Zunächst war wieder starkes Ausströmen zu beobachten, das aber rasch abnahm, so dass nach 1 Stunde etwa nur noch so viel Luft hervortrat, wie zuvor bei 15 cm Quecksilberstand. Nach Ablauf von 4 Stunden hörte das Ausströmen der Luft ganz auf. Das Eosin war auch in diesem Zweige selbst nicht bis in die Rinde vorgedrungen. Auch sonst verhielt sich dieser Zweig bei der Untersuchung wie zuvor der Ahornzweig und verrieth wie jener keine äussere Verletzung.

Für unsere Fälle steht also wohl fest, dass die Filtration der atmosphärischen Gase durch eine trockne Gefässwand sich leichter vollzieht als ihre rasche Diffusion durch eine imbibirte

Das stimmt denn auch zu älteren Angaben [1]), wie sie in Pfeffer's Physiologie ihren Ausdruck gefunden haben [2]). Hingegen mag die langsamere Diffusion der Gase durch die Membranen sich leichter vollziehen, wenn dieselben imbibirt als wenn dieselben trocken sind. Das würde den Widerspruch erklären, der zwischen den Resultaten meiner Versuche und den neuerdings von Lietzmann [3]) einerseits, von Wiesner und Molisch [4]) andererseits publicirten Angaben besteht. Nach Lietzmann [5]) sollen alle Membranen, die er in Untersuchung nahm, im imbibirten Zustande mehr Luft passiren lassen, als im trocknen. Wiesner und Molisch geben ebenfalls an, dass „jede Zellhaut ein bestimmtes Gas desto rascher diffundiren lässt, je reichlicher sie mit Wasser imbibirt ist." Andererseits kam Drude [6]) bei seinen im Interesse der Holzimprägnirungsfragen angestellten Versuchen, auf welche ich später zurückkomme, zu dem Ergebniss, „dass die trockne Zellmembran (bez. Holzzellwand) sehr viel leichter von Luft durchsetzt werde, als die mit Wasser durchtränkte".

Die Verrichtung der Hoftüpfel.

Auf die Function der Hoftüpfel nahm ich bereits Gelegenheit mehrfach hinzuweisen. Namentlich trat mir deren Bedeutung nach mancher Seite entgegen bei der directen Beobachtung des Aufsteigens der Farbstofflösung in den Tracheïden der Coniferen.

Meine auf die Function der Hoftüpfel gerichteten Untersuchungen wurden auf das Coniferenholz beschränkt. Dieses

---

1) Auch denjenigen Wiesner's, in: Versuche über den Ausgleich des Gasdruckes in den Geweben der Pflanzen, Sitzber. d. Wiener Akad., Math.-naturwiss. Cl., Bd. LXXIX, 1879, p. 392.

2) Bd. I, p. 85.

3) Ueber die Permeabilität vegetabilischer Zellmembranen in Bezug auf atmosphärische Luft, Flora, 1887, p. 339.

4) Ueber den Durchgang der Gase durch die Pflanzen, Ber. d. Wiener Akad., 1887; Bot. Centralblatt, 1889, Bd. XXXIX, p. 214.

5) l. c. p. 376.

6) Studien über die Conservirungsmethoden des Holzes in „Der Civilingenieur", herausgegeben von E. Hartig, 1889, Sp. 41.

Holz allein gestattet es, vermöge seines gleichartigen Baues, die Versuche so anzuordnen, dass sie auf die gestellte Frage eine bestimmte Antwort ertheilen müssen. Auch unter den Coniferen waren demgemäss von den Versuchen alle diejenigen Arten ausgeschlossen, welche Harzgänge im Holze und in den Markstrahlen, oder nur in ersteren, führen. Auch musste ein solches Coniferenholz bevorzugt werden, dem das Holzparenchym vollständig, oder so gut wie vollständig, fehlt. Ich hielt mich daher an die Edeltanne, und zwar an gesunde, fehlerfreie Exemplare, deren Holz auf seine Tadellosigkeit in jedem einzelnen Falle geprüft wurde. Die thatsächlich zwischen den Tracheïden der Edeltanne aufzufindenden Intercellularen stören den Versuch bei grösserer Länge der Versuchsstücke nicht, da sie selbst nur geringe Länge besitzen, kein zusammenhängendes System bilden, ausserdem sehr eng sind.

Herr Forstmeister Sprengel in Bonn hatte wiederholt die Güte, kräftige Edeltannen für mich fällen zu lassen, wofür ich ihm sehr verpflichtet bin.

Offene Tracheïdenzüge bei Coniferen, über welche noch immer Nachrichten einlaufen, die aber noch Niemand gesehen hat, existiren in Wirklichkeit nicht und kommen somit nicht in Betracht. Thatsächlich war deren Vorhandensein durch das Th. Hartig'sche Experiment mit Zinnober [1]), somit schon seit 1863, ausgeschlossen.

Wie im anatomischen Theile dieser Arbeit bereits erwähnt wurde [2]), findet man an Alcohol-Material alle Tracheïden des Splintholzes mit median gestellten Schliesshäuten vor. Im Kernholz sind die Schliesshäute der weiten Tracheïden aspirirt, der engen Tracheïden wie der tracheïdalen Markstrahlelemente nicht aspirirt. Am Splintholz, welches man an der Luft trocken werden liess, zeigen die Schliesshäute der weiten Splintholztracheïden dieselbe aspirirte Lage wie im Kernholz. In Alcohol-Material, das an der Luft langsam trocknete, sind die Schliesshäute der weiten Splintholztracheïden nicht aspirirt, wohl aber sind sie es an Alcohol-Material, das zunächst in Wasser gelegt

1) Ueber die Schliesshaut des Nadelholz-Tüpfels, Bot. Ztg., 1863, p. 293.

2) Vergl. hierzu auch Russow, Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralblatt, Bd. XIII, p. 61.

wurde, sich mit demselben vollsog und das hierauf erst an der Luft trocknete.

An frischen Holzstücken der Edeltanne, die ich 48 Stunden lang, bei annähernder Siedehitze, in Wasser hielt, blieben die Tüpfel der weiten Tracheïden im Splintholze offen, wenn auch ihr Torus stellenweise etwas aus seiner Lage gerieth. Im Kernholz führte andererseits das Kochen nicht zur Lostrennung der Tori von ihrem einseitigen Anschluss an einen Tüpfelkanal, selbst auch in den weitesten Hoftüpfeln nicht. Liess man dieses gebrühte Holz austrocknen, so schlossen sich auch die weiteren Hoftüpfel im Splint.

Um die Schliesshäute in den auf dieselben zu untersuchenden Präparaten leichter verfolgen zu können, färbte ich die betreffenden Holzstücke, als Ganzes, mit Eosin. Ich setzte meist direct zu dem Wasser oder zu dem Alcohol, in welchem die Holzstücke lagen, geringe Mengen von Eosin hinzu. Die Präparate untersuchte ich hierauf meist in Glycerin. — Bereits Sanio [1]) ist die Neigung der Schliesshäute, Farbstoff zu speichern, aufgefallen. „Legt man“, schreibt er, „feine radiale Schnitte (der Kiefer) in eine verdünnte, aber noch intensiv roth gefärbte Lösung von Anilin und lässt sie darin einige Stunden, wäscht man darauf die Präparate mit glycerinhaltigem Wasser und legt sie in eine Lösung von Gummi arabicum (Glycerin verringert zu schnell die Intensität der rothen Färbung), so findet man fast alle Kanäle durch eine roth gefärbte Membran verschlossen.“ Zimmermann [2]) hat neuerdings auf dieselbe Erscheinung als auf ein Mittel, die Schliesshäute der Hoftüpfel bei den Coniferen leicht sichtbar zu machen, hingewiesen. Zimmermann benutzte als Färbungsmittel besonders Hämatoxylin und färbte mit demselben vornehmlich Schnitte aus Alcohol-Material. Bei kurzer, nur zwei bis fünf Minuten dauernder Behandlung, waren die Zellkerne und die Schliesshäute in den Präparaten gefärbt. Dieses Verhalten weist, meint Zimmermann, darauf hin, dass die Schliessmembranen der Hoftüpfel in chemischer und physikalischer Beziehung von der übrigen Membransubstanz abweichen. — Ganz dasselbe Ver-

1) Anatomie der gemeinen Kiefer, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX, p. 82.

2) Eine einfache Methode zur Sichtbarmachung des Torus der Hoftüpfel, Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie, Bd. IV, 1887, p. 216.

halten wie gegen Hämatoxylin, zeigen die Schliesshäute auch dem Eosin gegenüber; sie färben sich zuerst mit demselben und halten es am längsten fest. Der Torus ist es, den ich am stärksten gefärbt finde.

Besonders schöne, auf die Schliesshäute ganz ausschliesslich beschränkte Eosinfärbung gaben mir wiederholt Holzkeile aus dem Schafte der Edeltanne und andere Coniferen, die ich Eosin-Wasser mit dem Querschnitt aufsaugen liess und die ich hierauf in Alcohol legte. Nicht minder schöne Eosinfärbungen der Schliesshäute wie bei Coniferen, erhielt ich übrigens auch nach dieser Methode an den Gefässen von Ficus elastica, den Gefässen und Tracheïden der Eichen und der Robinia, sowie an den Tracheïden von Dracaenen.

Im Kernholz der Edeltanne, noch mehr aber demjenigen der Kiefer, Fichte und Hemlockstanne (Tsuga canadensis) erscheinen die Tori vielfach etwas dicker und stärker lichtbrechend, wodurch ihre Beobachtung entschieden erleichtert wurde. Wie sie die Fähigkeit besitzen, die Farbstoffe stärker aufzuspeichern, so mögen sie auch die Verkernungsstoffe stärker an sich ziehen und diese ihre Eigenschaft die Herstellung von Verschlüssen im Kernholze begünstigen. Bei der Lärche konnte ich eine entsprechende Veränderung der Tori nicht sicherstellen; bei der grossen Menge Harz, das bei der Verkernung dort in die Tracheïden ergossen wird, könnte dieselbe auch wohl entbehrt werden.

Der Torus erscheint im optischen Querschnitt quer gestreift, wie fein porös, eine Erscheinung, auf welche bereits Russow hinwies [1]).

Dass der Torus der Schliesshäute auch in dem so wenig in seinem Aussehen vom Splint abweichenden Kernholz der Edeltanne eine Veränderung erfährt, zeigte besonders schön ein Holzkeil, den ich 48 Stunden lang, bei annähernder Siedehitze, in Wasser gehalten hatte. Ungeachtet dieser Holzkeil einen grossen Theil seines Kernstoffes an das stark gebräunte Wasser abgegeben hatte, nahmen die Tori des Kernholzes, nach Zusatz von Jodjodkaliumlösung, eine deutliche Gelbfärbung an, während die Tori im Splintholze farblos blieben.

---

1) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 66.

Sehr schön trat der strahlige Bau des Margo an den Schliesshäuten im Holze der Edeltanne hervor, das ich 48 Stunden lang in annähernd siedendem, zum Theil kochendem Wasser gehalten hatte. Ich constatirte auch bei dieser Gelegenheit von neuem, dass die Schliesshäute aller Tüpfel an den Tracheïden gleich gebaut sind und diejenigen an den terminalen Scheidewänden von denjenigen an den Seitenwänden in keiner Weise abweichen.

Die Schliesshäute zwischen je zwei Tracheïden sind ganz allgemein nach derselben Richtung aspirirt [1]), als Beweis dafür, dass gleichmässige Saugung, beziehungsweise auch gleichmässiger Druck, diese Erscheinung veranlasst haben.

Meine Versuche über die Verrichtungen der Hoftüpfel führte ich mit Holzcylindern aus, die ich entweder in der Längsrichtung des Schaftes oder quer aus dem Schafte schnitt. Die quer aus dem Schafte geschnittenen Cylinder waren entweder radial oder tangential orientirt. Ich werde im Folgenden der Kürze wegen diese verschieden orientirten Cylinder als Längscylinder, Radialcylinder und Tangentialcylinder unterscheiden.

Ich gebe zunächst eine Uebersicht der Ergebnisse, auf welche eine Erörterung der einzelnen Versuche folgen wird.

Die Hofräume der Tüpfel halten das Wasser mit grosser Energie fest, solange sie aber mit Wasser gefüllt sind, stellen sie einen sehr wirksamen Verschluss gegen Luft her, so zwar, dass die Luft nur bei relativ hohem Druck durch einzelne solcher Hofräume, selbst bei dem Ueberdruck von einer Atmosphäre nicht durch eine grössere Zahl solcher mit Wasser gefüllter Hofräume, gepresst werden kann. Durch trockene Hofräume geht aber die Luft schon bei relativ geringem Druck hindurch, indem es ihr nicht schwer wird, die trockne Schliesshaut zu passiren. Nur wenn die Zahl derselben sehr gross wird, wachsen die Widerstände und führen schliesslich dahin, dass durch Tangentialcylinder von einigen Centimetern Höhe überhaupt keine Luft mehr zu pressen gelingt. Die Luft kann sich ebenso durch den trocknen Torus wie durch den trocknen Margo bewegen, so dass der aspirirte Zustand der Schliess-

1) Vergl. auch Russow, l. c. p. 62.

häute, bei welchem die Tori einem Tüpfelkanal angedrückt sind, die Luftbewegung wohl etwas erschwert, doch innerhalb bestimmter Grenzen nicht aufhebt. Auch die Verkernung, soweit dieselbe nicht mit einer zu starken Veränderung der Tori, einer Verstopfung der Hofräume und einer Verstopfung der Tracheïden verbunden ist, hebt diese Möglichkeit der Luftbewegung durch eine begrenzte Anzahl von Schliesshäuten nicht auf, so dass sich durch longitudinale Cylinder aus dem wenig verkernten Kernholz der Edeltanne Luft unschwer pressen liess. Trockne ausgespannte Schliesshäute, wie man sie erhalten kann, wenn man Alcohol-Material des Splintes der Edeltanne an der Luft langsam trocknen lässt, sind für Luft am durchlässigsten. Die Luft geht dann jedenfalls durch den Margo und ihr Druck reicht nicht aus, um die trockne, freilich wohl auch starrer gewordene Schliesshaut aus ihrer Lage zu bringen. Anders bei feuchten Schliesshäuten, wie sie zunächst gegeben sind, wenn sich in frischem Splintholze, oder mit Wasser injicirtem Splintholze, die Hofräume innerhalb einzelner Bahnstrecken mit Luft füllen und wegsam für Luft zu werden beginnen. Die Luft bewegt sich weit langsamer und schwerer durch diese Schliesshäute und drückt sie gleichzeitig gegen die Hofwandung. Ungleiche Luftspannungen zu den beiden Seiten einer imbibirten Schliesshaut haben aus gleichem Grunde ein Ansaugen derselben an die Hofwandung zur Folge, und führen zu der aspirirten Stellung. Eine Steigerung der Luftdruckdifferenz veranlasst dann weiter das Einziehen des Torus in den Tüpfelkanal. Nach dem Austrocknen der Schliesshaut wäre eine so extreme Einsaugung des Torus nicht mehr möglich, da auch der Torus jetzt dem Durchgang der Luft nicht den hierzu nöthigen Widerstand bietet. Der stark in den Tüpfelkanal eingebogene und in solcher Lage eingetrocknete, auch wohl mit Kernstoffen imprägnirte Torus ist dann aber dauernd in seiner Lage fixirt.

Alle diese Angaben bezogen sich auf die Bewegung der Luft in der Richtung der Leitungsbahnen, wo diese Luft nur Schliesshäute der Hoftüpfel zu durchsetzen braucht und sie gelten im Wesentlichen auch für Tangentialcylinder, welche der Luft auch Tüpfel zum Durchgang bieten. Durch radial geschnittene Cylinder, selbst aus Splintholz, ist hingegen Luft nicht durchzupressen. Die Luft müsste in dieser Richtung durch die ganze Dicke der Membranen gehen; das vermag sie selbst

bei ganz geringer Höhe der Cylinder nicht. Sie vermag es nicht, ob nun diese Radialcylinder imbibirt oder trocken sind. Trockne Radialcylinder lassen Luft durch die Intercellularen der Markstrahlen treten, doch gelingt es leicht, diese mit Wasser capillar zu verstopfen, ohne die Bedingungen des Experiments im Uebrigen zu ändern.

Wasser durchsetzt in Längscylindern mit grösster Leichtigkeit, der Längsachse der Tracheïden folgend, den Margo imbibirter Schliesshäute und die mit Wasser gefüllten Hofräume. Der imbibirte Margo der Schliesshäute setzt dem Durchtritt des Wassers einen nur sehr geringen Widerstand entgegen. Dieser Widerstand der Schliesshäute gegen den Durchtritt des Wassers wächst bedeutend, sobald die Tüpfel geschlossen sind, das Wasser somit die Tori passiren muss. Jetzt filtrirt das Wasser nicht mehr rasch durch den Holzkörper, es bewegt sich nur noch langsam innerhalb desselben.

Auch unter negativem Druck wird Wasser in einen Längscylinder aufgenommen und in demselben aufwärts geleitet. Es erfolgt das in Folge der Saugung, die sich an der transpirirenden Oberfläche eines solchen Cylinders einstellen muss, da Luft nicht durch die mit Wasser verschlossenen Hoftüpfelräume eindringen kann. Die Menisken an der Querschnittfläche können bei dieser Saugung nicht mitwirken, da das Wasser aus den geöffneten Tracheïden bald abdunstet. Auch würden sie, bei der gegebenen Weite der Tracheïden in dem benutzten Holze, das Quecksilber kaum über 10 cm heben können, während Saugungen bis über 30 cm Quecksilber notirt wurden.

Bei der Leichtigkeit, mit welcher das Wasser die Schliesshäute der offenen Tüpfel im Splinte passirt, ist nicht anzunehmen, dass selbst eine rasche Strömung einen Verschluss der Schliesshäute herbeiführen könnte. Derselbe würde auch nur dem Wasseraufstieg hinderlich sein. Nach Pappenheim [1]) ist aber der zum Verschluss der Hoftüpfel nothwendige Druck so bedeutend, dass die durch Wurzeldruck und Transpirationssaugung erzeugten Kräfte hierzu nicht ausreichen würden. Wenn daher, meint Pappenheim, der Verschluss im lebenden Splintholze zu irgend einem Zweck zu Stande kommt, so müssen im

---

1) Zur Frage der Verschlussfähigkeit der Hoftüpfel im Splintholze, Ber. d. deut. Bot. Gesell. 1889, p. 19.

Stamme noch andere, auf zahlreiche naheliegende Punkte vertheilte Kräfte wirksam sein. Ich glaube auf Grund meiner Versuche behaupten zu dürfen, dass durch Wasserströme in der Pflanze ein Verschluss der Hoftüpfel nicht bewerkstelligt wird. Es geschieht dies vielmehr nur durch Luftdruck.

Wird in einer Tracheïdenreihe der Wasserfaden unterbrochen und ein luftverdünnter Raum erzeugt, so muss sich Saugung einstellen, welche den benachbarten Tracheïdenreihen Wasser entzieht. Führt dieser Vorgang zu einer Unterbrechung der Wasserfäden auch in diesen angrenzenden Tracheïden, so wird die imbibirte Schliesshaut nunmehr aspirirt. Die von einer Tracheïdenreihe ausgehende Saugung wird sich daher in den angrenzenden Tracheïdenreihen abschwächen, in den entfernteren aber ganz verlieren. Tritt bei reichlicherer Wasseraufnahme das Wasser an geschlossene Schliesshäute wieder heran, so wird es durch den Torus derselben durchgesogen werden. Ist aber der Raum zu beiden Seiten der Schliesshaut wieder mit Wasser erfüllt, so kehrt dieselbe in ihre neutrale Stellung zurück. Da negativer Druck, bei dem guten Abschluss der Bahnen, sich sehr lange in denselben erhält, so werden zeitweise entleerte Bahnen ohne weitere Störung wieder in Function treten können. Bleibt aber eine Bahn über ein bestimmtes Zeitmaass hinaus ohne Wasserzufuhr, so büsst sie ihre Leitungsfähigkeit ein. Denn wir haben gesehen, dass in entleerte Bahnen mit negativer Gasspannung Luft durch Diffusion, wenn auch äusserst langsam eindringt. Es trocknen dann zugleich die Schliesshäute aus und werden in ihrer Lage dauernd fixirt. — Von den Vorgängen innerhalb sich entleerender Wasserbahnen giebt uns ein jedes Splintholzstück Auskunft, das wir trocken werden lassen. Die Schliesshäute werden nach den zuerst sich entleerenden Tracheïden hin angezogen und verharren in dieser Lage. Zwischen je zwei Tracheïden sind alle angesogenen Schliesshäute dem entsprechend auch gleich orientirt; wohl aber können sie in derselben Tracheïde verschiedene Orientirung nach verschiedenen Tracheïden hin zeigen. Ist, was nur äusserst selten vorzukommen scheint, zwischen zwei Tracheïden eine Schliesshaut in einer den übrigen entgegengesetzten Richtung angesogen, so lässt sich wohl annehmen, dass sich die ursprünglichen Druckverhältnisse änderten, diese Schliesshaut aber nur noch allein auf dieselben reagiren konnte, während die anderen Schliesshäute bereits fixirt waren.

Bei den Einrichtungen, wie sie das Coniferenholz bietet, können im wesentlichen nur die tangential an einander grenzenden Bahnen sich in ihrem Leitungsgeschäft beeinflussen, da eine radiale Verbindung durch Tüpfel fehlt. Bei der ersten Schicht der Frühtracheïden wird von dieser Einrichtung abgewichen und dieselbe durch Tangentialtüpfel der letzten Schicht der Spätholztracheïden angeschlossen. Ebenso fanden wir die letzten Schichten der Spättracheïden bei verschiedenen Nadelhölzern unter einander vereint. Endlich trat uns auch innerhalb der radial getrennten Reihen öfters eine Ausbildung radialer Verbindungen entgegen, wenn die Unterbrechung der tangentialen Anschlüsse solches verlangte.

Bei den dicotylen Hölzern mit allseitig orientirter Tüpfelung wird eine Regulirung des selbstthätigen Mechanismus der Hoftüpfel in anderer Weise erreicht. Es geschieht dies durch Ausbildung verschieden weiter und verschieden structurirter Elemente. Dieselben halten das Wasser mit ungleicher Energie fest. Bei entsprechendem Bau sind die englumigen befähigt, den weiten das Wasser zu entziehen, und werden dann die weiten Elemente entsprechend gegen die engen abgeschlossen. In solcher Weise kann eine abwechselnde Füllung und Entleerung der als Wasserbehälter fungirenden Elemente erreicht werden. Je nach der Holzart erscheinen ausserdem die Bahnencomplexe mehr oder weniger von einander getrennt. Wie weit aber in manchen Hölzern, bei fortgeschrittener Differenzirung die seitliche Vereinigung der Bahnen gehen kann, ohne ihre Gesammtfunction zu stören, zeigten uns unsere Einkerbungsversuche bei der Eiche.

Da Luft relativ leicht und rasch, Wasser nur schwer und langsam durch das Kernholz der Edeltanne zu pressen ist, so muss daraus gefolgert werden, dass es in den Tüpfelverschlüssen, welche das Kernholz aufweist, nur um eine Absperrung der Bahnen gegen Wasser, nicht gegen Luft sich handelt. Thatsächlich finden wir ja auch die Lumina der Elemente im Kern mit Luft erfüllt, während sie kein Wasser führen.

Auch durch einen Längscylinder aus Splint, den man trocknete und in dem somit die Tüpfel sich geschlossen haben, filtrirt das Wasser nur langsam durch. Das ändert sich auch dann nicht, wenn der Längscylinder mit Wasser vollständig injicirt wird. Dieses zeigt aber klar, dass die Tüpfelverschlüsse nur die rasche

Bewegung des Wassers behindern, ohne dessen langsamere Filtration auszuschliessen. — Werden die Tori der verschlossenen Hoftüpfel im Kernholz zugleich mit Kernstoffen imprägnirt, die Hofräume und sogar die Lumina der Elemente stellenweise mit solchen Stoffen erfüllt, dann muss die Möglichkeit einer Wasserbewegung innerhalb solcher Bahnen auf ein Minimum sinken.

Derartige Verschlüsse machen zuletzt auch jede schnellere Bewegung der Luft unmöglich.

Durch wasserhaltige Tracheïden lässt sich Luft nicht pressen. Auch hoher Druck vermag die zahlreichen capillaren Verschlüsse nicht zu überwinden. Weit leichter geht das Wasser durch lufttrockenen Splint. In dem Maasse, als die Lumina dieses Splintes sich mit Wasser füllen, sinken die Filtrationswiderstände. — Das deckt sich mit den Erfahrungen von Jamin [1]) an porösen Körpern, auf welche ich früher schon Bezug nahm. Ein sehr enges Rohr mit abwechselnden Erweiterungen und Verengungen konnte, mit dem in acht Verengungen capillar festgehaltenen Wasser, 2 Atmosphären Druck Widerstand leisten. Wurde in ein solches, mit Wasser erfülltes Rohr ein Gas eingepresst, so verjagte dieses das Wasser von Kammer zu Kammer, liess aber Wasserglieder an den verengten Stellen zurück, und bald war deren Widerstand so gross, dass er den Druck annullirte. Umgekehrt gelang es leicht, aus einem solchen, mit Luft erfüllten Kanal die Luft mit Wasser zu verjagen. — In einem lufthaltigen Holzcylinder, in welchen man Wasser einpresst, sind die Widerstände grösser, da die zu verjagende Luft die Schliesshäute passiren muss. Alle Luft wird man auch nicht verjagen, da vorauseilende Wasserfäden angrenzende Bahnen in absteigender Richtung füllen und einzelne Luftglieder absperren. Daher ein solcher, durch Einpressen von Wasser mit diesem angefüllter Holzcylinder der Filtration dauernd einen etwas grösseren Widerstand entgegensetzt, als ein Holzcylinder, den man in geeigneter Weise vollständig mit Wasser injicirte.

Umgekehrt wird es um so leichter sein, Luft durch einen Radialcylinder zu pressen, je weniger Wasser die Tracheïden in ihrem Lumen und in den Hofräumen der Tüpfel führen, und je weniger die Schliesshäute mit Wasser imbibirt sind.

---

1) Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des liquides dans les corps poreux. Comptes rendus Bd. L, p. 175.

Die Hoftüpfel halten aber, auch in sonst entleerten Tracheïden, als capillar äusserst wirksame Räume das Wasser fest und verzögern so nach Möglichkeit ein Austrocknen der Schliesshäute.

So greifen alle Einrichtungen der Leitungsbahnen in der Pflanze wirksam und gleichmässig in einander, um ein regelrechtes Functioniren dieser Bahnen zu sichern.

Die engen Hoftüpfel der Spättracheïden, und so auch der tracheïdalen Markstrahlelemente bei Pinus-Arten, findet man bekanntlich auch im Kernholz offen. Hieraus zu folgern, dass die Schliesshaut dieser engen Tüpfel unbeweglich sei, wäre gewiss unrichtig. Dann hätten sie wohl sicher auch nicht den zu Verschlüssen dienenden Torus aufzuweisen. Bei der Untersuchung dieser Hoftüpfel fällt die relativ geringe Breite des Hofraumes im Verhältniss zu der bedeutenden Dicke der Tori auf. Ein solches Verhältniss muss aber zur Folge haben, dass schon geringe seitliche Bewegungen der Schliesshaut einen Verschluss des Tüpfelkanals bewirken. Andererseits wird aber durch einen solchen Bau ein Hineinziehen des Torus in den Tüpfelkanal verhindert. So dürfte nach erfolgtem Ausgleich der Gasspannungen die Schliesshaut hier leicht in ihre neutrale Stellung wieder zurückkehren. Bei dem Umstande, dass schon im Splinte die Spättracheïden vielfach mit Luft angefüllt werden, dass sie wohl auch dazu bestimmt sein können, aus den Früh- und Folgetracheïden zu verdrängende Luft aufzunehmen, dass sie andererseits doch aber auch die Fähigkeit behalten sollen, sich unter Umständen mit Wasser zu füllen, mag eine solche Einrichtung, die einen definitiven Verschluss der Tüpfel verhindert, vortheilhaft sein.

Durch tangential aus dem Splinte der Edeltanne herausgeschnittene, mit Wasser erfüllte Cylinder lässt sich das Wasser auch bei bedeutendem Druck nur sehr langsam pressen. Ein rasches Durchfiltriren, wie es durch longitudinale Cylinder möglich ist, erscheint hier ausgeschlossen. Das erklärt sich zum Theil aus der grossen Zahl der Schliesshäute, die zu passiren sind. Die Tracheïden weisen annähernd 100 Mal grössere Länge als Breite auf, so dass ein Tangentialcylinder von 1 cm Höhe dem Wasser ebenso viel Schliesshäute bietet, wie ein 1 m hoher Längscylinder. Dazu kommen aber jedenfalls noch andere Widerstände, welche eine rasche Bewegung des Wassers senkrecht zu der Richtung der Leitungsbahnen erschweren. Aehnliche Er-

scheinungen sind uns auch in den tangentialen Spänen entgegengetreten, die wir mit einer Längskante Farbstofflösung aufnehmen liessen, oder bei welchen die Farbstofflösung sich seitlich von den Leitungsbahnen aus verbreiten sollte.

Durch radial aus dem Splintholze der Edeltanne geschnittene Cylinder kann man Wasser nur sehr langsam bei relativ hohem Druck pressen. Ein solcher, 1,5 cm hoher, mit Wasser gesättigter Cylinder, der unter 50 cm Quecksilberdruck steht, lässt in 24 Stunden nur wenige Cubikcentimeter Wasser durchtreten.

Die zahlreichen Versuche, die das Vorausgeschickte stützen sollen, wurden vornehmlich mit Hilfe J-förmig gekrümmter Röhren von 6 mm Lumen ausgeführt. Die aus dem Holz geschnittenen, entsprechend orientirten Cylinder hatten bei wechselnder Länge meist einen Durchmesser von 1,5 cm. Wie in der vorausgehenden Uebersicht werden auch in der jetzt folgenden Darlegung die in der Längsrichtung des Schaftes geschnittenen Cylinder als Längscylinder bezeichnet, während die senkrecht zur Längsrichtung des Schaftes radial und tangential geschnittenen Holzcylinder als Radial- und Tangentialcylinder unterschieden werden. Bei Berechnung des Wasserdrucks bildet die der oberen Schnittfläche des Holzcylinders entsprechende Höhe im langen Schenkel des Rohres den Nullpunkt. Bei Berechnung des Quecksilberdruckes wurde die Niveaudifferenz zwischen den beiden Quecksilberkuppen gemessen, dabei, soweit es sich um Durchpressung von Wasser handelte, so viel Wasser dem Quecksilber im langen Rohrschenkel aufgegossen, als sich Wasser zwischen dem Object und der Quecksilberkuppe im kurzen Rohrschenkel befand. Wenn während des Versuches die Luft oder das Wasser unter dem Object auszugehen drohten, die Fortsetzung des Versuches aber wünschenswerth erschien, wurde durch Neigen des Rohres Luft oder Wasser wieder unter das Object und der Druck im langen Schenkel auf eine der vorausgehenden entsprechende Höhe gebracht. Sollte der Druck in Saugung verwandelt werden, so füllte ich den langen Rohrschenkel bis oben mit Wasser an und setzte ihn nunmehr umgekehrt mit dem offenen Ende in Wasser oder in Quecksilber ein, je nachdem Wasserdruck oder Quecksilberdruck in An-

wendung gekommen waren. Als Gefässe, in welche der offene Rohrschenkel in solchem Falle eingesetzt wurde, dienten lange und schmale Cylinder, so dass ich durch mehr oder weniger tiefes Einsenken des Rohrschenkels in dieselben die Grösse der Saugung des weiteren reguliren konnte. — Soweit ich mit Holzcylindern experimentirte, die anders als in der Längsrichtung des Stammes geschnitten worden waren, setzte ich sie vollständig in fest anschliessende Kautschukschläuche ein und umgab letztere mit zahlreichen Drahtschlingen. So allein konnte, je nach Umständen, ein Austritt von eingepresster Luft oder von Wasser an den Seiten der Cylinder zu den offenen Enden der Tracheïden verhindert werden. Sollten die Cylinder einen hohen Druck aushalten, so wurde die Zahl der Drahtschlingen entsprechend vermehrt. — Sollte Luft durch Holzcylinder gepresst werden, so versenkte ich mit Beginn des Versuches den unteren Theil des J-förmigen Rohres so weit in ein grosses Gefäss mit Wasser, dass die obere Schnittfläche des Cylinders von Wasser eben gedeckt wurde. Der Austritt von Luftblasen liess sich alsdann leicht controliren. Um durch capillare Verstopfungen veranlasste Störungen nach Möglichkeit auszuschliessen, wurde das Rohr erst in das Wasser versenkt, nachdem ein gewisser Druck im langen Schenkel schon eingesetzt hatte.

Falls ich einen Holzcylinder wiederholt zu Versuchen benutzte, erneuerte ich jedesmal die Schnittfläche an demselben, um die Störungen zu eliminiren, die durch Veränderungen am Querschnitt veranlasst werden konnten. Diese Störungen machen sich, wie Sachs zuerst gezeigt hat [1]), alsbald geltend und werden auch die Resultate der einzelnen Versuche, soweit diese einige Zeit anhalten, beeinflusst haben. Bei der übereinstimmenden Art der Versuchsanstellung, und der relativ kurzen Dauer meiner Versuche, werden diese Störungen in den einzelnen Fällen annähernd gleich ausgefallen sein und konnten bei dem Zweck, den ich befolgte, vernachlässigt werden. So auch hielt ich es in den Versuchen nur selten für nöthig, ihren ganzen Verlauf zu notiren, im Allgemeinen genügte es für meine Aufgabe, das Endresultat einzutragen.

Zunächst stellte ich einige Vorversuche über Vorhandensein

1) Ueber die Porosität des Holzes, Vorl. Mitth., p. 7.

gefässartiger Verbindungen unter den Tracheïden an. Fortdauernd werden solche für Coniferen behauptet. Direct beobachtet worden sind sie nie, man schloss vielmehr auf ihre Existenz aus den Ergebnissen physiologischer Versuche. Lietzmann [1]) kommt zu dem Resultate, dass diese „offenen Tracheïdenstränge“ eine Länge von 22 cm, ja wohl darüber erreichen, und Böhm findet „schlagende Beweise“ dafür, dass die Coniferen „Gefässe“ besitzen, in welchen das Saftsteigen erfolgt [2]). Und doch hatte bereits Th. Hartig [3]) und dann Sachs [4]) gezeigt, dass man auch den feinsten Zinnober nicht tiefer in Coniferenholz als in die durch den Schnitt geöffneten Tracheïden injiciren kann. Er gelangt in die Hoftüpfelräume, von diesen geöffneten Tracheïden aus aber nicht weiter. Ich habe diesen Versuch mit dem Holz der Edeltanne wiederholt, und zwar mit demselben Erfolg wie Th. Hartig und Sachs. Ich benutzte die von Sachs empfohlene beste Sorte Zinnober in eckigen Stücken, die als Malerfarbe verkauft wird, zerrieb sie in viel destillirtem Wasser und filtrirte wiederholt durch Filtrirpapier. Die Zinnobertheilchen, welche die Flüssigkeit suspendirt enthält, sind jetzt so klein, dass sie, Sachs' Angabe entsprechend, lebhafte „Molecularbewegung“ zeigen und auch in mehreren Tagen nicht zu Boden sinken. Die Injection nahm ich so wie Th. Hartig vor, indem ich in einer starken Kochflasche etwas Wasser zum Kochen brachte und dieselbe, während lebhafter Dampfentwicklung, mit einem Gummipfropf verschloss, in welchen luftdicht der Cylinder von frischem Splintholz der Edeltanne eingesetzt war, welcher nunmehr mit seinem freien Ende in die den Zinnober enthaltende Flüssigkeit tauchte. Die Untersuchung zeigte nur die am Querschnitt offenen Tracheïden und die in diese mündenden Hoftüpfel injicirt. Die Zinnoberkörnchen füllten die Höfe vollständig, indem durch ihren Anprall die Schliesshäute in entsprechender Richtung verdrängt wurden und eine Lage wie im aspirirten Zustand erhielten. Nur die engsten

1) Ueber die Permeabilität vegetabilischer Zellmembranen in Bezug auf atmosphärische Luft, Flora 1887, p. 358 u. 376.

2) Ursache des Saftsteigens, Ber. d. deutsch. Bot. Gesellsch., 1889, p. (55), auch Bot. Centralbl., Bd. XLII, p. 270.

3) Ueber die Schliesshaut des Nadelholztüpfels, Bot. Ztg., 1863, p. 293.

4) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. d. Bot. Inst. zu Würzburg, Bd. II, p. 294.

Spättracheïden konnten, wenn auch durch den Schnitt geöffnet, zum Theil frei von Zinnober bleiben. — Ebenfalls zeigte schon Sachs, dass auch Quecksilber nicht tiefer in die Tracheïden eindringt[1]). Er wandte einen Druck von 30—40 cm an, ich steigerte denselben bis auf 160 cm Quecksilber, das heisst bis über 2 Atmosphären, und liess denselben 24 Stunden lang einwirken, ohne dass das Resultat verändert worden wäre. Auch ich fand nur die angeschnittenen Tracheïden und alle in dieselben mündenden Tüpfel in dem 6 cm langen, aus frischem Splint der Edeltanne dargestellten Cylinder injicirt, und, wie zuvor bei Zinnober, die Schliesshäute gegen die abgekehrte Wandung des Hofraumes gedrängt. In Folge des sehr hohen Druckes zeigte sich der Torus öfters in den angrenzenden Tüpfelkanal eingewölbt, so wie in stark aspirirter Lage, doch nirgends durchbrochen. Sehr schön können radiale Längsschnitte an so injicirtem Holze ausfallen, da sie die Enden der mit Quecksilber angefüllten, annähernd gleich hoch abschliessenden, radial auf einander folgenden Tracheïden scharf gezeichnet zwischen den leeren Tracheïden zeigen. Die Injection reicht an keiner Stelle, soweit das Messer nicht Zerstörungen angerichtet hat, tiefer als 3 mm in den Holzkörper hinein.

Eine Störung meiner Versuchsergebnisse durch gefässartig zusammenhängende Tracheïdenstränge war somit ausgeschlossen.

Ich theile hier die wichtigsten derselben mit.

Durch 8 cm lange Längscylinder aus dem Splintholze der Edeltanne filtrirte das Wasser bei Ueberdruck von 50 cm Wasser meist so rasch durch, dass es von der oberen Schnittfläche abfloss. Mit sinkendem Wasserdruck nahm die Schnelligkeit der Filtration ab und pflegte der Ausgleich des letzten Centimeters Ueberdruck wohl an 10 Minuten zu beanspruchen. Die Zeit, welche vom Beginne des Versuches bis zu dem Augenblicke verfloss, wo sich das Wasser im langen Schenkel des J-Rohrs auf gleicher Höhe mit der oberen Schnittfläche des Holzcylinders einstellte, schwankte zwischen einer halben bis zu einer ganzen Stunde.

Durch einen 7,5 cm langen Längscylinder aus dem Kernholz einer frisch gefällten Edeltanne, der lufthaltig, beim An-

---

1) l. c. p. 295.

fühlen trocken, unter 60 cm Quecksilberdruck gesetzt wurde, filtrirte in 15 Stunden nur so viel Wasser durch, dass die Quecksilbersäule um 10 cm sank.

Gleichzeitig brachte ich einen eben so langen Längscylinder aus frischem Kernholz, den ich nach Möglichkeit mit der Wasserstrahlluftpumpe injicirt hatte, unter 90 cm Wasserdruck. Die Wassersäule sank in 5 Stunden um 20 cm, in den folgenden 10 Stunden um weitere 40 cm, so dass der Ueberdruck des Wassers nur noch 30 cm betrug.

Unter weit höherem Druck, als er hier in Anwendung kam, hat Pappenheim [1]) Wasser durch das Holz der Edeltanne gepresst. Er fand in ca. 8 cm langen Cylindern aus dem Splint der Edeltanne die Filtrationsmaxima von Wasser vielfach erst bei zwei und mehr Atmosphären Druck, während die Minima, welche durch Tüpfelverschluss bewirkt sein sollen, sich erst bei ca. 6 Atmosphären Druck einstellten. In den Pappenheim'schen Untersuchungen stellten sich, wenn der Druck nicht sehr rasch gesteigert wurde, Filtrationsabnahmen ein, die zu rasch auf einander folgten, als dass sie auf Bacterienscheimbildung zurückgeführt hätten werden können. Eine solche Abnahme der Filtrationsfähigkeit wurde beispielsweise schon constatirt, als ein Cylinder 80 Secunden lang unter dem Drucke von 19 bis 17 cm Quecksilber, ohne Unterbrechung des Filtrationsstromes, Wasser durchtreten liess. Diese Erscheinung, welche früher schon Sachs [2]) entgegentrat, als er Wasser durch frisches Coniferenholz filtrirte, kann nach Pappenheim nur zwei mögliche Ursachen haben: „entweder haben sich bei diesem geringen Drucke alle Tüpfel etwas, oder nur einige verhältnissmässig mehr geschlossen“. Pappenheim übersieht dabei, was schon Sachs angegeben hat [3]), dass es bei diesen Versuchen genügt, eine zarte Lamelle an der das Wasser aufnehmenden Seite zu entfernen, damit die Filtration wieder sehr lebhaft werde. Bacterienschleim kann sich freilich in so kurzer Zeit nicht entwickeln, wohl aber wird, worauf v. Höhnel schon hinwies [4]) und

1) Zur Frage der Verschlussfähigkeit der Hoftüpfel im Splintholze, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch., 1889, p. 2.

2) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. des bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, p. 297, 302.

3) l. c. p. 297.

4) Ueber die Ursache der raschen Verminderung der Fil-

woran an dieser Stelle nochmals erinnert werde, der Inhalt der durchschnittenen Elemente, in diesem Falle der Markstrahlen, durch das eintretende Wasser mitgerissen und verstopft die aufgeschnittenen Tracheïden. Dass die Einzelversuche bei Pappenheim so verschieden ausfielen und er, wie er selbst angiebt [1]), nicht zwei Cylinder von paralleler Filtrationsfähigkeit gewinnen konnte, lag andererseits wohl daran, dass er Edeltannenholz benutzte, welches längere Zeit an der Luft lag und dass er diesem Holze zu verschiedenen Zeiten sein Versuchsmaterial entnahm. Der Stamm war am 15. August frisch gefällt, „die Beobachtungen in den nächsten zehn Tagen angestellt" [2]). Ein Theil der benutzten Holzcylinder durfte somit bereits aspirirte Schliesshäute besitzen; die einzelnen Cylinder mussten ausserdem wechselnde Mengen von Luft enthalten, vielleicht hatten sich auch schon Verkernungsvorgänge in einigen eingestellt. Eine vorhergehende Injection mit Wasser wäre zum Mindesten angezeigt gewesen; vor allem aber hätte auch Alcohol-Material zum Vergleich herangezogen werden sollen, da ja durch Russow schon lange bekannt ist, dass Alcohol ohne Tüpfelverschluss das Splintholz der Coniferen conservirt. — Pappenheim stellte fest, dass, wenn auf den starken Druck, der die Filtrationsgrösse herabgesetzt hatte, ein schwächerer folgte, diese Grösse wieder wuchs. Er schliesst hieraus auf ein sich wieder Oeffnen der Tüpfel, was in der That möglich ist. Denn eine Schliesshaut wird in ihrer aspirirten Lage erst beim Austrocknen fixirt.

Da jedenfalls ein weit höherer Druck innerhalb der mit Wasser angefüllten Bahnen bestehen müsste, als dies unter natürlichen Verhältnissen der Fall ist, um ein Anpressen der Schliesshäute zu veranlassen, so folgt hieraus auch, dass innerhalb ununterbrochener Wasserbahnen Tüpfelverschlüsse überhaupt nicht in die Wasserbewegung eingreifen. Wohl aber wird ein Ansaugen der Schliesshaut erfolgen zwischen Tracheïden, wenn in denselben die Wasserfäden unterbrochen werden und Druckdifferenzen sich einstellen.

---

trationsfähigkeit von Zweigen für Wasser, Bot. Ztg., 1879, p. 302, 320.

1) l. c. p. 14.

2) l. c. p. 10.

Mit Wasser injicirte, selbst nur 4 cm lange, fehlerfreie Längscylinder aus dem Splintholze der Edeltanne hielten den Ueberdruck von 76 cm Quecksilber aus, ohne Luft, auch bei 12stündiger Dauer des Versuchs, durchzulassen.

Dem entsprechen auch ältere Angaben, in welchen freilich der Inhalt der Elemente nicht wie in meinen Versuchen unter directer Controlle stand, und welche daher auch nur zu muthmaasslichen Schlussfolgerungen führen konnten. So giebt Scheit[1]) an, dass durch ein 3,5 cm langes, die fünf jüngsten Jahresringe in sich fassendes Holzstück aus einem noch frischen, erst kürzlich gefällten Stamme von Abies balsamea selbst bei 120 cm Quecksilberdruck keine Luft zu pressen war. So auch nicht durch ein 2 cm langes fingerdickes Wipfelstück von derselben Tanne bei 1 Atmosphäre Druck, während ein entsprechendes Stück von Taxus baccata an einer Stelle am Mark Luft durchliess. Bei 55 cm Quecksilberdruck hörte auch dieser Luftdurchtritt bei Taxus auf. Durch ein 4 cm langes, fingerdickes Wipfelstück von Abies excelsa, „nachdem vorher Wasser durchfiltrirt war“, vermochte, gleichfalls bei 1 Atmosphäre Druck, Luft nicht zu treten.

Durch einen 6 cm langen, 2,5 cm dicken, aus 22 Jahresringen herausgeschnittenen Längscylinder von frischem Splintholz der Edeltanne liess sich Luft erst bei 22 cm Quecksilberdruck durchpressen. Auch trat dieselbe nur aus dem Frühholze des 16., 17. und 18. Jahresringes, von aussen gerechnet, hervor. Diese drei Jahresringe zeichneten sich durch besondere Breite, bei relativ schwacher Entwicklung der Zone schmaler Spättracheïden, aus. Sie maassen zusammen 6 mm. Die mikroskopische Untersuchung zeigte die weiteren Tracheïden dieser drei Jahresringe mit Luft injicirt. Es traten in den Präparaten scharf die Enden dieser lufterfüllten Tracheïden hervor und es war festzustellen, dass auch alle Hofräume der Tüpfel in den terminalen Scheidewänden mit Luft angefüllt worden waren. Hingegen führten die Hofräume der an den Seitenzweigen stehenden Tüpfel zum Theil noch Wasser. Dass ein so hoher Druck nothwendig war, um Luft durch diese sich als lufthaltig erweisende Bahn zu pressen, konnte nur dadurch veranlasst sein, dass die Schliesshäute noch mit Wasser imbibirt, auch wohl vereinzelte

1) Die Wasserbewegung im Holze, Bot. Ztg. 1884, Sp. 181.

Hofräume mit Wasser erfüllt waren. Die anderen Jahresringe innerhalb dieses Holzcylinders zeigten sich bei der Untersuchung auch nicht arm an Luftblasen, sie hatten auch vielfach schon lufterfüllte Hoftüpfelräume aufzuweisen, doch nicht in hinreichender Zahl, um bereits durchlässig für Luft zu sein.

Durch an der Luft langsam getrocknetes Alcoholmaterial des Splintholzes der Edeltanne ist Luft im Verhältniss am leichtesten zu pressen. Das wird durch den Umstand veranlasst, dass die Hoftüpfel beim Austrocknen des Alcoholmaterials vorwiegend offen bleiben. Aus dem oberen Querschnitt eines 7 cm hohen Längscylinders aus solchem Material entwichen schon bei einem Quecksilberdruck von 3 cm merkliche, bei einem Druck von 6 cm bedeutende Luftmassen. Die Luft strömte vornehmlich aus dem Frühholze hervor. Die mikroskopische Untersuchung des Holzcylinders ergab hierauf, dass auch nach dieser Durchpressung von Luft die Zahl der geschlossenen Tüpfel nicht nachweisbar zugenommen hatte. Der Widerstand, den die trocknen Schliesshäute dem Durchgang der Luft entgegensetzten, war somit nicht gross genug, um dieselben aus ihrer Lage zu bringen, oder doch in einer angedrückten Lage zu fixiren, wobei freilich zu berücksichtigen blieb, dass die Beweglichkeit der Schliesshäute durch das Austrocknen abgenommen haben konnte.

Dass übrigens auch trockne, angepresste Schliesshäute dem Durchgang der Luft keinen wesentlich grösseren Widerstand entgegensetzen als trockne, nicht angepresste, zeigte ein anderer Versuch. Ein aus frischem Splintholz der Edeltanne geschnittener, 7 cm hoher Längscylinder wurde 24 Stunden bei 96 ° C im Wärmeschrank getrocknet, wobei, wie die mikroskopische Untersuchung lehrte, die Tüpfel sich schliessen. Durch diesen Cylinder presste ich nunmehr Luft bei Quecksilberdruck. Auch diesmal trat schon bei 3 cm Quecksilberdruck aus einzelnen Tracheïdenreihen der breiteren Jahresringe Luft hervor. Als ich den Druck auf 6 cm steigerte, wurde der Luftaustritt aus den Frühtracheïden ganz allgemein. Bei 10 cm Quecksilberdruck wuchs er stürmisch an, blieb aber auf die weiteren Tracheïden beschränkt.

Kaum weniger für Luft durchlässig zeigte sich ein entsprechender Cylinder aus dem Kernholz dieser Edeltanne. Freilich war letzteres im Aussehen von dem Splintholze kaum ver-

schieden und als solches eigentlieh nur mikroskopisch durch den Mangel lebendiger Elemente erkennbar.

Die Versuche, Wasser durch die beiden letztbenutzten Längscylinder, welche eben die Luft so leicht hatten filtriren lassen, zu pressen, stiessen zunächst auf Hindernisse. Selbst bei 76 cm Quecksilberdruck trat nicht sofort Wasser aus der oberen Querschnittsfläche dieser Cylinder hervor. Das konnte nicht durch den Widerstand der Luft bedingt sein, die ja leicht entweichen konnte. Es mussten vielmehr die trocknen Tori der geschlossenen Tüpfel sich jetzt der raschen Bewegung des Wassers widersetzen. Diese Widerstände wurden nur langsam überwunden. Eine halbe Stunde etwa nach Beginn des Versuches, war das Quecksilber in dem mit dem Splintholzcylinder verbundenen Rohr erst auf 62, in dem mit dem Kernholzcylinder verbundenen Rohr sogar erst auf 71 cm gefallen. Nach anderthalb Stunden stand das Quecksilber in dem einen Rohr auf 52, dem andern auf 64, nach drei Stunden auf 42 und 60. In beiden Holzcylindern war das Wasser bis zum oberen Querschnitt gelangt. Allein auch nachdem die Holzcylinder annähernd injicirt waren, blieb die Wasserbewegung durch die geschlossenen Tüpfel nur langsam. Der Verschluss der Hoftüpfel würde somit, ohne weitere Veränderungen des Holzkörpers, im wesentlichen schon genügen, um das Kernholz leitungsunfähig zu machen. Im Splintholz, wo die Hoftüpfel offen bleiben, reicht das Austrocknen der Schliesshäute wohl schon für deren Unwegsamkeit aus. Verkernungsvorgänge, wenn auch noch so beschränkt, bleiben beim Absterben der Markstrahlen zugleich nicht aus. Die Luft durchsetzt aber die geschlossenen Schliesshäute ohne grossen Widerstand, so dass deren Bewegung auch im Kernholz, durch den Verschluss der Hoftüpfel allein, nicht aufgehoben wird.

Um festzustellen, inwieweit die Widerstände, welche diese beiden Versuchscylinder dem Durchtritt des Wassers entgegensetzten, auch durch eingefangene Luft bedingt waren, versuchte ich dieselben mit der Wasserstrahlluftpumpe zu injiciren. Dann sollte der vorausgegangene Versuch mit ihnen wiederholt, somit nochmals Wasser durch dieselben gepresst werden. Die beabsichtigte Wasserinjection mit der Wasserstrahlluftpumpe gelang aber nur unvollständig. Auch nach dreistündiger voller Saugung wollten die Holzcylinder nicht vollständig untersinken. Die imbibirten Tori verwehrten den Austritt der eingeschlossenen Luft. Da

immerhin die beiden Holzcylinder wesentlich tiefer in das Wasser tauchten, ihr Luftgehalt somit augenscheinlich abgenommen hatte, so schritt ich, ohne weiter die Saugung fortzusetzen, zu der Wiederholung meines Versuches. Ein rasches Durchpressen des Wassers war aber auch jetzt bei dem Ueberdruck einer Atmosphäre nicht möglich. Wohl aber sank das Quecksilber im Rohr schneller. Das Wasser erreichte nach 10 Minuten bereits den oberen Querschnitt des Splintholzcylinders und gleichzeitig erschienen auch schon einzelne Stellen an der Querschnittsfläche des Kernholzcylinders benetzt. Nach 4 Stunden war das Quecksilber an dem Splintholzcylinder auf 41 cm, an dem Kernholzcylinder auf 51 cm gefallen. Zwei Stunden später stand das Quecksilber im ersten Rohr auf 34, im letzteren auf 46 cm. Nach 12 Stunden auf 22 und 34 cm; nach 21 Stunden auf 13 und 24 cm. — Auch nach der so weit wie thunlich vollzogenen Injection mit Wasser war es somit, in Folge der Tüpfelverschlüsse, nur möglich, langsam das Wasser durch die beiden Holzcylinder zu pressen.

Ich beschloss, den Versuch mit den beiden Längscylindern weiter auszudehnen, vermehrte daher die unter denselben befindliche Wassermenge und erhöhte den Druck in beiden Apparaten wieder auf 30 cm Quecksilber. Das Quecksilber fiel entsprechend der folgenden Tabelle:

nach	2	Std.	27	Min.	Splintholzcylinder	22	cm,	Kernholzcylinder	27	cm Quecksilberstand
„	3	„	45	„	„	20	„	„	24,5	„ „
„	6	„	0	„	„	16	„	„	22	„ „
„	8	„	30	„	„	13	„	„	21	„ „
„	12	„	0	„	„	10	„	„	19	„ „
„	24	„	0	„	„	2	„	„	13	„ „
„	36	„	0	„	„	4	„	„	9	„ „
„	48	„	0	„	„	— 9	„	„	6	„ „
„	60	„	0	„	„	— 14	„	„	3	„ „
„	72	„	0	„	„	— 19	„	„	— 0,5	„ „
„	96	„	0	„	„	— 28	„	„	— 7	„ „

Da das Wasser, welches dem Splintholzcylinder zur Verfügung stand, auszugehen drohte, so wurde der Rohrschenkel über dem Quecksilber mit Wasser vollständig angefüllt, der Apparat in entsprechender Weise umgekehrt, so dass das ganze Quecksilber in den langen Schenkel des ʃ-Rohres abfloss und das Wasser dem Holzcylinder in reichlichem Maasse nunmehr zur Verfügung stand. Das offene Ende des umgekehrten Rohres kam in ein Gefäss mit Quecksilber zu stehen. Das ergab nun für diesen

Splintholzcylinder, eine Saugung von 31,5 cm Quecksilber und 37 cm Wasser. Hierauf

nach	9 Stunden	32 cm Quecksilber	und 36,5 cm Wasser
„	24 „	34 „ „	„ 34,5 „ „
„	36 „	33 „ „	„ 33,5 „ „

Eine Einsaugung von Luft durch den Holzcylinder hatte begonnen und diese Luft sammelte sich in der oberen Krümmung des Rohres an. Daher nach weiteren 24 Stunden der Quecksilberstand nur noch 31 cm betrug. Die Luft nahm nun rasch in dem oberen Theile des Rohres zu und wurde daher der Apparat auseinander genommen.

Der Kernholzcylinder, der in der ursprünglichen Stellung belassen worden war und den wir zuvor verliessen, als nach 96 Stunden sein Quecksilberstand —7 cm betrug, das heisst der ursprüngliche Druck sich auch bei diesem Kernholzcylinder in Saugung von 7 cm Quecksilber verwandelt hatte, zeigte:

nach	105 Stunden	einen Quecksilberstand von	— 8,5 cm
„	120 „	„ „ „	— 11 „
„	132 „	„ „ „	— 12 „
„	144 „	„ „ „	— 13 „
„	192 „	„ „ „	— 17 „

Hierauf wurde auch dieser Apparat mit Wasser angefüllt und umgekehrt, was eine Quecksilbersaugung von 28,5 cm und Wassersaugung von 40 cm ergab. Nach 48 Stunden war das Quecksilber auf 29 cm gestiegen; Luft noch nicht eingedrungen. Nach abermals 48 Stunden stand das Quecksilber auf 30 cm, nochmals nach 48 Stunden auf 30,7 cm, nochmals nach 48 Stunden 31,5. Etwas Luft begann sich jetzt in der oberen Biegung des Rohrs anzusammeln. Nach weiteren 2 Tagen 32 cm Quecksilbersaugung; nach weiteren 4 Tagen 34,5 cm; nach weiteren 8 Tagen 35,5 cm; nach weiteren vier Wochen endlich nur 34,5 cm. Die Luftmenge in der oberen Biegung des Rohres hatte entsprechend zugenommen, der Versuch wurde abgebrochen.

In dem Augenblick, wo der Quecksilberdruck auf die untere Querschnittfläche des Kernholzcylinders noch 22 cm betrug, begann der obere Querschnitt bereits stellenweise trocken auszusehen. Dasselbe trat für den Splintholzcylinder erst ein, als der Quecksilberdruck nur noch 2 cm ausmachte. In beiden Fällen trockneten aber in solcher Weise nur die obersten Tra-

cheïden an der Schnittfläche aus. Tiefer konnte durch die mit Wasser verstopften Hoftüpfelräume keine Luft vordringen, während Wasser dauernd diese Tüpfelräume passirte, um an der Schnittfläche zu verdunsten. Daher auch die Wasseraufnahme in die Holzcylinder fortdauerte, als der ursprüngliche Quecksilberdruck sich in starke Saugung verwandelt hatte. Als diese Saugung sich aber dem Werthe einer halben Atmosphäre näherte, begann in einzelne weniger resistente Bahnen von aussen Luft einzudringen und sich in dem Apparat zu sammeln.

Eine Untersuchung der peripherischen Theile der beiden Holzcylinder, gleich nach deren Injection mit der Wasserstrahlluftpumpe, hatte ergeben, dass alle Tüpfelräume, auch die der engsten Spättracheïden mit Wasser erfüllt waren. Als der Splintholzcylinder bei Unterbrechung des Versuches jetzt der Länge nach gespalten wurde, zeigte er sich in den mittleren Theilen dunkler, weil noch feucht, in der Peripherie hingegen mehr oder weniger vollständig trocken. Die mikroskopische Untersuchung lehrte, dass alle Tracheïden, auch diejenigen der feuchten Stellen, Luft führten, doch bildete die Luft in den Tracheïden der feuchten Stellen nur Blasen, meist mehrere in jeder Tracheïde, während die Tracheïden der trocknen Stellen, vornehmlich die weiteren Tracheïden des Früh- und Folgeholzes, fast nur Luft enthielten. In den feuchten Stellen zeigten sich die Hoftüpfelräume, vornehmlich diejenigen des Früh- und Folgeholzes, noch mit Wasser erfüllt, während sie in den trocknen Stellen Luft führten. Diese trocknen Theile mit lufthaltigen Tüpfelräumen waren es somit, welche der Luft das Eindringen in den Apparat gestattet hatten. Da diese luftführenden Theile in der Peripherie des Cylinders lagen, so bewies dies, dass das Eindringen von Luft nicht allein von der oberen Schnittfläche, sondern auch von den Seitenflächen her erfolgte, wobei jedenfalls langsame Diffusion, durch die starke negative Spannung im Innern angeregt, mit im Spiele war. Dafür spricht auch der Umstand, dass bei beiden Holzcylindern das Eindringen von Luft in den Apparat sich zwar zu verschiedenen Zeiten, doch bei annähernd gleich starker Saugung einstellte. Verstopfungen der Bahnen, die bei so lang andauernden Versuchen nicht ganz ausbleiben konnten, werden wohl das Resultat nicht wesentlich beeinflusst haben, sonst hätte dasselbe bei so ver-

schiedener Dauer des Versuchs nicht so übereinstimmende Zahlen ergeben.

Ein 8 cm hoher Längscylinder aus dem Kernholz der Edeltanne einem Holzkeil entnommen, der 8 Tage lang an der Luft gelegen hatte, ohne aber vollständig auszutrocknen, liess bei einem Quecksilberdruck von 6 cm die Luft nur an einer Stelle des Frühholzes durch. Bei 12 cm Quecksilberdruck entströmte Luft reichlich dem Frühholze. Bei 10 cm Quecksilberdruck nahm die Luftausscheidung bereits bedeutend ab. — Etwas durchlässiger zeigte sich ein 8 cm langer Cylinder aus dem Splinte desselben Holzkeiles. Bei 6 cm Quecksilberdruck kam die Luft nur an 9 Stellen, bei 12 cm Druck reichlich aus dem ganzen Frühholze hervor. Bei 8 cm Quecksilber war der Luftaustritt aus diesem Splintholzcylinder bereits sehr eingeschränkt.

Der etwas grössere Druck, der nothwendig war, um durch diese beiden Cylinder Luft zu pressen, erklärt sich aus dem Umstande, dass das Holz dieser Cylinder noch nicht völlig trocken, die Schliesshäute somit noch imbibirt waren. Dass feuchte Schliesshäute die Luft schwerer als trockne durchlassen, zeigte sich in allen Versuchen, so dass Lietzmann's [1]) Angabe, dass alle Membranen im imbibirten Zustande mehr Luft passiren lassen als im trocknen, auch für Schliesshäute nicht zutrifft [2]).

Nun wurde versucht, durch diese beiden Cylinder Wasser zu pressen. In beiden J-förmigen Röhren brachte ich den Quecksilberdruck übereinstimmend auf 76 cm. Nach 2 Stunden fiel das Quecksilber über dem Splintholzcylinder auf 58 cm, über dem Kernholzcylinder auf 64 cm. Nach $5^1/_2$ Stunden wurde der Quecksilberstand auf 51,5 und 58,5 cm notirt. Die oberen Schnittflächen erschienen nur theilweise feucht. Nach 12 Stunden betrug der Quecksilberüberdruck 14 cm und 52 cm;

1) Ueber die Permeabilität vegetabilischer Zellmembranen in Bezug auf atmosphärische Luft, Flora, 1887, p. 376.

2) Hingegen würde die ältere Angabe von Wiesner (Versuche über den Ausgleich des Gasdruckes in den Geweben der Pflanzen, Sitzber. d. Wiener Akad., Math.-nat. Cl., Bd. LXXIX, 1879, p. 407), dass, je stärker Holzzellen mit Wasser imbibirt sind, desto langsamer der Ausgleich des Gasdruckes erfolge, auch für das Verhalten der Schliesshäute zutreffend sein.

nach 24 Stunden 35 cm und 47 cm. Die oberen Schnittflächen der beiden Cylinder waren jetzt ihrer ganzen Ausdehnung nach feucht. Eine langsame Filtration von Wasser wäre jetzt weiter, wie in früheren Versuchen, erfolgt, daher es keinen Zweck hatte, diese Beobachtung fortzusetzen.

Hingegen versuchte ich, nunmehr durch diese beiden mit Wasser injicirten Holzcylinder von neuem Luft zu pressen. Das war, auch nachdem ich den Druck bis auf 80 cm Quecksilber gesteigert hatte, nicht möglich. Ebensowenig gelang dies in entgegengesetzter Richtung, als das ſ-Rohr umgekehrt in Quecksilber gesetzt und der vorausgehende Druck in 80 cm Quecksilbersaugung verwandelt wurde.

Aus einem anderen Keilstück der Edeltanne, das ebenfalls seit 8 Tagen im Zimmer lag, von welchem aber ein peripherisches Stück abgespalten worden war, stellte ich nun nahe der Oberfläche einen 8 cm langen, longitudinalen Splintholzcylinder her. Dieser Holzcylinder war in seinen äusseren Jahresringen, die zunächst an die Luft grenzten, fast völlig ausgetrocknet, in seinen inneren Jahresringen noch feucht. Die äusseren Jahresringe erschienen daher heller als die inneren gefärbt. Auch die mikroskopische Untersuchung zeigte in den äusseren Jahresringen fast nur Luft, in den inneren Wasser mit Luftblasen. Schon bei 5 cm Quecksilber trat Luft aus den drei äusseren, trocknen Jahresringen hervor. Eine Steigerung des Druckes selbst bis auf 20 cm Quecksilber vermochte aber nicht Luft durch die inneren Jahresringe zu pressen, während den äusseren jetzt grosse Mengen von Luft entströmten. Die äusseren Jahresringe wurden nun mit Siegellack luftdicht abgeschlossen und hierauf der Quecksilberdruck bis auf 50 cm erhöht. Auch jetzt kam keine Luft aus den inneren Jahresringen hervor. Der Holzcylinder blieb nun 24 Stunden frei in einem geheizten, sehr trocknen Zimmer liegen. Bei langsamer Steigerung des Quecksilberdruckes bis auf 11 cm begann alsdann auch aus dem vierten Jahresring des Cylinders, der zuvor sich undurchlässig gezeigt hatte, Luft hervorzutreten. Die mikroskopische Untersuchung lehrte, dass die grösste Mehrzahl der Hofräume in diesem Jahresringe jetzt schon Luft führte.

Aus diesen Angaben erklären sich hinlänglich auch die Resultate früherer Versuche. Sachs fand, das offene Communi-

cationswege an der Grenze des vorausgehenden „Herbst- und des nachfolgenden Frühlingsholzes" existiren, welche Luft durchlassen. Das wurde an 3—4 cm langen, dem lebenden Stamm entnommenen Längscylindern von Coniferenholz festgestellt. Zu den Versuchen diente im Besonderen sehr wasserreiches Holz der Tanne im Januar, von Pinus Laricio, brutia und Pinsapo im Februar. Dasselbe Resultat soll freilich auch lufttrocknes Tannenholz gegeben haben. Wurde letzteres mit Wasser künstlich überladen, durch langes Stehen des unteren Endes in Wasser, dann liess sich selbst bei sehr hohem Druck keine Luft durch dasselbe pressen [1]). Dass Sachs den Luftdurchtritt an frischem, wasserreichem, durch Fällung im Winter gewonnenem Holze nur an den Jahresgrenzen beobachtete, erklärt sich aus dem Umstande, dass nur die engsten Spättracheïden um diese Zeit Luft führten und somit für Luft durchlässig waren. Dass mit Wasser künstlich überladenes Holz sich völlig undurchlässig für Luft zeigte, war eben Folge der Injection aller Hofräume mit Wasser. In dem als lufttrocken bezeichneten Tannenholze, welches auch an den Jahresgrenzen Luft durchlassen sollte, musste aber auch während der Versuchsanstellung unter Wasser eine capillare Verstopfung der Hofräume in den weiteren Tracheïden sich vollzogen haben. — Nach v. Höhnel [2]) sind es bei den Abietineen die „Herbsttracheïden" allein, oder vorzugsweise, welche Luft durchlassen, bei Taxineen und Cupressineen „Frühjahrstracheïden". Aus diesem Verhalten schliesst v. Höhnel auf gefässartige Verbindungen unter den Tracheïden an den angeführten Orten. Dass v. Höhnel's Befunde ganz zufällige waren und nur durch die Vertheilung des Wassers in den Versuchsobjecten bedingt, liegt wohl auf der Hand.

Durch längeres Kochen in Wasser wird das Holz der Edeltanne vollständig injicirt, so dass es untersinkt. Ich setzte das Kochen während 48 Stunden fort, wobei das Wasser, das sich dunkelbraun färbte, wiederholt gewechselt wurde. Durch das Kochen wird ein Theil der Kernstoffe entfernt und dadurch die Durchlässigkeit der Tori im Kernholz für Wasser ge-

1) Ueber die Porosität des Holzes. Vorläufige Mittheilung, 1877, p. 5.

2) Ueber das häufige Vorkommen von gefässartig zusammenhängenden Tracheïdensträngen in Coniferenhölzern, Bot. Ztg., 1879, Sp. 329.

steigert. Die Schliesshäute bleiben übrigens, soweit man trocknes Holz zum Kochen verwandte, auch im Splinte aspirirt. Zunächst wählte ich aber frisches Holz zu dem Versuche, und zeigte der Splint daher offene Tüpfel. Das Wasser floss durch einen 7 cm langen Cylinder aus Splintholz leicht durch, und eine halbe Stunde später war im längeren Schenkel des Rohres der ursprüngliche Ueberdruck der Wassersäule bereits in mehrere Centimeter Saugung verwandelt. Ein 7 cm langer Kernholzcylinder liess, nachdem er unter 30 cm Quecksilberdruck gesetzt worden war, das Wasser aus seiner oberen Querschnittsfläche ebenfalls sofort hervortreten, und war dieser Wasseraustritt stark genug, um ein, wenn auch nur sehr langsames, Abfliessen zu ermöglichen. Nach einer Stunde betrug der Quecksilberüberdruck im längeren Rohrschenkel nur noch 9 cm. Nach 4 Stunden war der Quecksilberstand in den beiden Rohrschenkeln ausgeglichen.

Ein Holzkeil, der einige Zeit an der Luft gelegen hatte, wurde 48 Stunden lang bei annähernder Siedehitze in Wasser gehalten, hierauf aus dem Splint und dem innersten Kern je ein Cylinder geschnitten. Diese Cylinder blieben monatelang in Alcohol liegen und kamen hierauf erst zur Verwendung. Sie wurden zunächst in Wasser gelegt, in welchem sie, wie auch sonst Alcohol-Material, das stets luftfrei ist, untersanken. Sie blieben 24 Stunden in Wasser und kamen dann an das Versuchsrohr. Der Splintholzcylinder wurde einem Druck von 50 cm Wasser ausgesetzt. Die Wassersäule sank in 5 Minuten auf 37 cm, worauf von 5 zu 5 Minuten die Werthe von 29 cm, 21 cm, 15,5 cm, 11,5 cm, 8,4 cm, 6,2 cm, 5 cm, 3,3 cm, 2,4 cm, 1,5 cm, 1 cm und 0,4 cm notirt wurden. In 65 Minuten war also im langen Schenkel des Rohrs das Wasser fast bis zur Höhe der oberen Schnittfläche des Holzcylinders gesunken. Nach Ablauf von 69 Minuten hatten sich beide Höhen ausgeglichen, und nun ging der Druck in Saugung über. Nach Ablauf einer weiteren Stunde stand das Wasser im langen Schenkel des Rohrs 2,5 cm tiefer als die obere Schnittfläche des Holzcylinders, nach 2 Stunden um 4, nach 3 Stunden um 5 cm. — Der Kernholzcylinder, der unter denselben Druck von 50 cm Wasser gesetzt wurde, liess in gleicher Zeit nur ein Sinken um 3 cm beobachten. Hierauf wurde dieser geringe Wasserdruck in 30 cm Quecksilberdruck verwandelt. Nach 10 Minuten fiel das Quecksilber um 1,5 cm, so zwar, dass die Niveaudifferenz

des Quecksilbers in dem langen und kurzen Rohrschenkel 28,5 cm betrug. Dann wurden alle 10 Minuten 27 cm, 26 cm, 24 cm, 23 cm und 22 cm notirt, dann nach einer halben Stunde 19 cm, wiederum nach einer halben Stunde 16 cm, dann in Abständen von je einer Stunde 13 cm, 10 cm, 7,5 cm, 6 cm, 4,5 cm, 3 cm, 1,6 cm, 0,8 und 0 cm notirt. In annähernd 12 Stunden war somit der Nullpunkt erreicht, wo das Quecksilber in beiden Schenkeln des Rohrs gleich hoch stand. Zu Anfang des Versuchs, bei 30 cm Quecksilberdruck, floss das Wasser langsam, doch merklich, von dem oberen Querschnitt ab; nach 5 Stunden stand nur noch eine dünne Wasserschicht auf demselben; weiterhin erschien er nur noch feucht. Vergleicht man diese Zahlen mit denjenigen des vorhergehenden Versuchs, in welchem die Holzcylinder gleich nach dem Auskochen zur Verwendung kamen, so findet man einen Ausfall zu Ungunsten der jetzigen. Das hängt für den Splint damit zusammen, dass der Holzkeil vor dem Kochen eine Zeitlang an der Luft gelegen, fast alle seine Tüpfel somit geschlossen hatte. Für den Kernholzcylinder war der Ausfall dadurch veranlasst, dass er einem stärker verkernten Holztheil entstammte. Da die Möglichkeit jedoch vorlag, im Alcohol sei eine durch das Kochen veranlasste Quellung der Schliesshäute rückgängig gemacht und dadurch ihre Durchlässigkeit verringert worden, so erhitzte ich die beiden Holzcylinder nochmals 24 Stunden lang in annähernd siedendem Wasser und prüfte sie von neuem. Der Splintholzcylinder wurde wie zuvor mit 50 cm Wasser beschwert. Dieses Wasser fiel in den aufeinanderfolgenden je 5 Minuten auf 36 cm, 25,5 cm, 16 cm, 11,5 cm, 8,5 cm, 5,8 cm, 4,2 cm, 3 cm, 2,2 cm, 1,6 cm, 1 cm. Nach 65 Minuten hatte sich der Wasserstand mit der oberen Schnittfläche des Holzcylinders ausgeglichen. Das ist genau die gleiche Zeit, die der Versuch zuvor beanspruchte um zu dem gleichen Punkte zu gelangen; somit hatte das erneuerte Kochen des Splintholzcylinders die Durchlässigkeit seiner Schliesshäute nicht erhöht. — Der Kernholzcylinder wurde wie zuvor mit 30 cm Quecksilber belastet. Dasselbe fiel in den aufeinanderfolgenden Zeiträumen von je 10 Minuten auf 28,2 cm, 26 cm, 25,2 cm, 23,8 cm, 22,8 cm, 21,8 cm, 20,8 cm, 19,8 cm, 18,8 cm; dann nach einer halben Stunde 15,5 cm und in Abständen von einer Stunde 12,5 cm, 9,3 cm, 6,8 cm, 5,4 cm, 3,9 cm, 2,4 cm, 1 cm, 0,2 und bald

darauf 0 cm. Dieser Zustand war hier somit nur unbedeutend schneller als in den früheren Versuchen erreicht worden. Der Aufenthalt in Alcohol hatte somit die Durchlässigkeit der Schliesshäute weder in dem Splint- noch in dem Kernholze der Edeltanne vermindert. Dass überhaupt die Wiederholung der Versuche etwas geringere Zahlen ergab, hing eben mit der Verminderung der Filtrationsfähigkeit zusammen, die solche Versuche überhaupt nach sich ziehen, auch wenn man durch Erneuerung der Schnittflächen dafür sorgt, die hauptsächlichsten Störungen zu beseitigen.

Zwei andere, je 7 cm lange Cylinder, die, aus dem Splint, respective dem Kern der Edeltanne dargestellt, 48 Stunden lang in 80—90 ° C heissem, zeitweise kochendem Wasser gehalten wurden, zeigten sich andererseits wiederum durchlässiger als die beiden vorhergehenden, und zwar weil der Splint vor dem Kochen frischer, der Kern aber noch schwächer verkernt war. Der Splintholzcylinder wurde unter 90 cm Wasserdruck gesetzt, in 25 Minuten hatte sich diese Wassersäule mit der oberen Schnittfläche des Holzcylinders egalisirt. Der Cylinder aus Kernholz erhielt 30 cm Quecksilberdruck. Das Quecksilber sank in 2 Stunden um 22 cm, nach 5 Stunden stand es in beiden Schenkeln des Rohres gleich hoch.

Endlich benutzte ich noch ganz trocknes Edeltannen-Holz, das Monate lang an der Luft gelegen hatte, zu einem Versuche. Es waren das zwei verschiedene Querscheiben, aus welchen je ein Splintholz- und je ein Kernholzcylinder von 7 cm Länge longitudinal herausgeschnitten wurden. Diese Cylinder hielt ich 3 Tage lang in fast siedendem, dann zum Schluss eine Stunde lang in siedendem Wasser. Alle vier Cylinder waren vollständig injicirt, so dass sie untersanken. Hierauf setzte ich diese Cylinder unter 65 cm Wasserdruck in die J-Rohre ein. In 5 Stunden fiel das Wasser über den Splintholzcylindern um 21 cm, beziehungsweise 33 cm, über den Kernholzcylindern um 0,5, beziehungsweise um 3 cm. Die geringen Werthe für den Splint werden in diesem Versuch nicht allein durch den Verschluss der Schliesshäute veranlasst, sondern auch durch den Umstand, dass die betreffenden Splintcylinder aus dem Innern grösserer Schaftabschnitte, die langsam an der Luft abstarben,

entnommen worden waren. Das langsame Absterben dieser Holzstücke hatte im Splinte Verkernungsvorgänge eingeleitet.

Durch Kochen verliert der Splint der Edeltanne nicht die Fähigkeit die Hoftüpfel seiner weiteren Elemente, wenn er dann austrocknet, zu schliessen.

Ich liess einen 7 cm langen Cylinder aus gekochtem Splintholz, der dem Durchgang von Wasser geringen Widerstand entgegengesetzt hatte, durch Liegen an der Luft austrocknen, injicirte ihn dann mit der Wasserstrahlluftpumpe und prüfte von neuem seine Durchlässigkeit. Ein Druck von 90 cm Wasser wurde angebracht. Ungeachtet dieses, für die in Betracht kommenden Verhältnisse, relativ hohen Druckes fand nur ein langsamer Durchtritt des Wassers statt. In 5 Stunden fiel das Wasser um 40 cm, in den folgenden 11 Stunden um weitere 57 cm, womit der Druck in 7 cm Saugung sich verwandelt hatte.

Vier tangentiale Cylinder wurden aus dem Splint der Edeltanne der Quere nach geschnitten, und zwar zwei aus frischem Splint, zwei aus Alcohol-Material. Diese Cylinder trockneten erst eine Zeitlang an der Luft und wurden hierauf 24 Stunden lang im Trockenschrank einer Temperatur von ca. 90° C ausgesetzt. Ich versuchte hierauf, durch diese Cylinder Luft durchzupressen. Es gelang dies bei ca. 76 cm Quecksilberdruck mit den beiden aus dem frischen Splint hergestellten Cylindern, als dieselben allmählich auf 6, beziehungsweise 5 mm Höhe zurückgeschnitten wurden; bei dem Cylinder aus Alcohol-Material machte sich ein Zurückschneiden auf 13, beziehungsweise 10 mm nothwendig. Die grössere Durchlässigkeit des Alcohol-Materials beruhte ganz vornehmlich darauf, dass es offene Schliesshäute führte, vielleicht zum geringeren Theil auf einem vollständigeren Austrocknen. In allen vier tangentialen Cylindern gehörte der genannte bedeutende Druck dazu, um den Durchtritt von Luft zu ermöglichen. War aber erst die Bewegung eingeleitet, so reichte ein weit geringerer Druck aus, um sie zu unterhalten. An dem langen von Alcohol-Material und dem kürzeren von frischem Splint stammenden Cylinder konnte dieser Druck bis auf 10 cm Quecksilber sinken, bevor aller Luftaustritt aufhörte. Eine vorübergehende Aufhebung des gesammten Druckes während des Versuches hatte aber stets zur Folge, dass wiederum ein wesentlich höherer Druck anzuwenden war, um den Luftdurchtritt von neuem einzuleiten. Bei dem kurzen, von frischem

Splinte stammenden Cylinder trat, nach solcher vorübergehender Aufhebung des Druckes, auch bei 35 cm Quecksilber keine Luft aus, es geschah dies erst oberhalb 50 cm. Dann konnte aber der Druck wieder bis auf 10 cm vermindert werden, ohne allen Luftaustritt zu sistiren. Es erklärt sich dieses Verhalten aus der capillaren Verstopfung der Hofräume an der oberen unter Wasser zu beobachtenden Schnittfläche, welcher Widerstand sich dann zu dem durch die trocknen Schliesshäute im Innern des Cylinders gegebenen jedesmal addirte. Dass aber diese tangentialen Cylinder wesentlich höhere Widerstände dem Durchtritt der Luft als longitudinale entgegensetzen, erklärt sich hinreichend aus der Zahl der zu passirenden Schliesshäute. Der Austritt der Luft erfolgte, wie direct festzustellen war, aus dem Frühlingsholze und bevorzugte dort in manchen Fällen noch besonders das innerste Holz des Jahresringes. Entsprechend dem geringen Durchmesser der Tüpfel bildeten die Luftbläschen im Wasser aufsteigend äusserst feine Perlenschnüre. An einzelnen Stellen der Schnittflächen traten auch wohl grössere Bläschen hervor, wohl oft entsprechend der Mündung einer hier zufällig geöffneten Tracheïde. Bei verringertem Druck fiel die Zahl der austretenden Bläschen entsprechend, schliesslich sah man sie nur noch aus ganz vereinzelten Stellen hervortreten und zuletzt ganz schwinden.

Ebensolche mit Wasser gesättigte Cylinder liessen auch bei 90 cm Quecksilberdruck keine Luft durch, ein Verhalten, das mit Sicherheit vorauszusehen war.

Aus dem Splinte einer frisch gefällten Edeltanne wurden vier Tangentialcylinder geschnitten, und zwar zwei von 3,5 cm Höhe und zwei von 1 cm Höhe. Alle vier Cylinder wurden einem Druck von 50 cm Wasser ausgesetzt. In 20 Stunden fiel das Wasser über dem einen 3,5 cm hohen Cylinder um 9 cm, über dem anderen 3,5 cm hohen um 4 cm, über dem einen 1 cm hohen Cylinder um 9 cm, über dem anderen um 10 cm. Ein geringer Druck reichte somit aus, um den Durchtritt von Wasser zu veranlassen, doch erfolgte dieser nur ganz langsam. Die obere Schnittfläche des Cylinders zeigte sich bald nach Beginn des Versuches benetzt, und blieb es auch während der ganzen Dauer desselben. Der eine der beiden 1 cm hohen Cylinder wurde nach Schluss des Versuches untersucht; er zeigte die Schliesshäute in neutraler Lage.

Hierauf wurde ein tangentialer, 6 cm hoher Splintcylinder aus Alcohol-Material der Edeltanne geschnitten. Dieses Material stammte von frisch eingelegtem Holz. Diesen Cylinder liess ich mit Wasser bis zum Untersinken sich sättigen, als er zur Verwendung kam. Bei einem Druck von 30 cm Quecksilber wurde das Wasser alsbald zur oberen Schnittfläche hervorgepresst, das Quecksilber sank aber trotzdem nur sehr langsam. Den Versuch wiederholte ich mit einem ganz entsprechenden, aber nur 2 cm hohen Cylinder. Derselbe war, wie der vorige, mit Wasser gesättigt. Ich setzte ihn einem Druck von 60 cm Quecksilber aus. Dasselbe fiel in der ersten Stunde nur um ca. 1 cm, in der folgenden um 2,5 weitere Centimeter; in der dritten und vierten Stunde sogar um je 5 cm; dann nahm die Schnelligkeit des Fallens allmählich wieder ab, so dass nach weiteren 9 Stunden der Quecksilberüberdruck noch 15 cm betrug, was für diese neun Stunden einen mittleren Werth von je 3,5 cm ergab. In den folgenden 6 Stunden fiel das Quecksilber auf 9 cm, nach abermals 6 Stunden auf 5 cm. Dann in 12 Stunden auf 1 cm und in nochmals 8 Stunden auf 0 cm. Es waren somit 48 Stunden nothwendig, um diesen Nullpunkt zu erreichen. Nunmehr verwandelte sich aber, ganz ähnlich wie es in longitudinal geschnittenen Cylindern geschehen war, der Druck in Saugung. Nach 5 Stunden stand das Quecksilber auf — 0,5 cm, und nach abermals 15 Stunden auf —3 cm. Nach weiteren 9 Stunden sank das Quecksilber auf —4 cm und nach weiteren 13 Stunden auf — 5 cm. Dann wurde der Versuch abgebrochen. Die Saugung konnte hier ebenso zu Stande kommen wie bei longitudinal geschnittenen Cylindern, da die mit Wasser angefüllten Hofräume der Luft das Eindringen in den Cylinder verwehrten, während eine schwache Wasserverdunstung an der freien Schnittfläche andauerte. So mussten starke negative Spannungen in den Tracheïden entstehen, die sich als Saugung äusserten. Der hermetische Verschluss mit Gummischlauch und Drahtschlingen verhinderte den Lufteintritt an den Seiten des Cylinders, von welchen aus die Luft übrigens auch nicht tief hätte eindringen können, da sie dort auch auf capillare Tüpfelverschlüsse alsbald stossen musste.

Auch Elfving [1]) constatirte, dass sich durch tangentiale,

---

1) Ueber die Wasserleitung im Holz, Bot. Ztg. 1882, Sp. 712.

2—3 cm hohe Cylinder aus feuchtem Splint der Edeltanne, Wasser pressen lässt. Andererseits bemerkte Elfving auch ganz richtig, dass, wenn man auf einen solchen senkrecht gehaltenen tangentialen Cylinder einen Tropfen Wasser oben auflegt, unten kein Wasser austritt, ungeachtet die Tüpfel für den Durchgang zur Verfügung stehen. Dass dieser leichte Durchtritt in der Längsrichtung, nicht aber in tangentialer Richtung möglich sei, erklärt sich Elfving aus der grossen Zahl der zu passirenden Tüpfel. Durch einen tangentialen Cylinder von nur 1 bis 2 mm Höhe, könne man mit Kautschukschlauch einen Wassertropfen einsaugen und wieder hervorpressen, ganz ebenso leicht wie an einem longitudinalen Stammstücke. Die Elfvingsche Erklärung trifft zu, reicht aber, wie wir zuvor gesehen haben, für sich allein nicht aus, indem zum grossen Theile der Widerstand, welcher dem Durchgang des Wassers in dieser Richtung entgegensteht, auf der Kraft beruht, mit welcher das Wasser in den einzelnen trachealen Bahnen festgehalten wird.

Pappenheim giebt hingegen an [1]), dass ihm ein tangentialer Cylinder der Edeltanne auch bei 450 cm Quecksilberdruck kein Filtrat lieferte. Da die Höhe des Cylinders nicht angegeben ist, so lässt sich mit dieser Angabe nicht viel anfangen. Sollte es ein 8 cm hoher Cylinder gewesen sein, so wie die radialen, so würde sich dieses Resultat leicht erklären. Ausserdem lässt sich nach der Art der Versuchsführung annehmen, dass dieser Cylinder ziemlich viel Luft enthielt, vielleicht auch aspirirte Schliesshäute. Ebenso erwartete Pappenheim vielleicht sofortigen Austritt von Filtrat und brach, als dieser nicht gleich erfolgte, die Versuche ab.

In einen tangentialen, 2 cm langen Cylinder aus Kernholz, der Alcohol-Material entnommen und mit Wasser gesättigt wurde, liess sich Wasser nur in äusserst geringer Menge hineinpressen. Ein Quecksilberdruck von 76 cm kam in Anwendung; in 24 Stunden fiel das Quecksilber trotzdem nur um 5 cm.

Durch einen mit Wasser injicirten 1 cm hohen, radialen Cylinder aus dem Splint der Edeltanne wurde versucht, Luft zu pressen. Dieser Cylinder fasste 3 Jahresringe in sich. Er widerstand 12 Stunden lang einem Druck von 80 cm Queck-

---

1) Zur Frage der Verschlussfähigkeit der Hoftüpfel im Splintholze, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesell. 1889, p. 14.

silber, ohne auch nur die geringste Luftmenge durchzulassen. Ich trocknete ihn hierauf an der Luft und wiederholte den Versuch. Jetzt traten schon bei 20 cm Quecksilberdruck an einzelnen Stellen ganz feine Bläschenreihen hervor. Bei 90-facher Vergrösserung wurde festgestellt, dass diese Luftbläschen aus den Intercellularen der Markstrahlen, die ja in der Längsrichtung dieses Radialcylinders liefen, hervortraten. Jetzt wurden 40 cm Quecksilber aufgegossen und durch Umdrehen des Apparates, in früher angegebener Weise, der Druck in Saugen verwandelt. Zugleich tauchte ich einige Augenblicke die freie Aussenfläche des Cylinders in Wasser ein, wodurch die Intercellularen der Markstrahlen injicirt wurden. Nun kam der Apparat wieder in die ursprüngliche Lage, und da keine Luft mehr, auch bei 40 cm Quecksilberdruck, hindurchtrat, so wurde der Druck bis auf 80 cm Quecksilber erhöht. Auch dieser reichte nicht aus, um Luft in sichtbarer Form durchzupressen, worauf ich nach 30 Minuten den Versuch unterbrach.

Durch einen Radialcylinder aus frischem Tannenholz gelang es auch Naegeli und Schwendener [1]) nicht, selbst bei 225 cm Quecksilberdruck, Luft zu pressen. Dieser Cylinder bestand, laut Angabe, aus innerem Rindenparenchym, Cambium und jungem Holz. Seine Höhe wird nicht genannt.

Durch einen radialen, 1,5 cm hohen, aus dem frischen Splint der Edeltanne geschnittenen Cylinder wurde alsdann versucht, Wasser bei 50 cm Quecksilberdruck zu pressen. Der Cylinder war so wasserreich, dass er im Wasser sank. Trotzdem liess er nur äusserst langsam Wasser durchtreten. In 24 Stunden fiel die Quecksilbersäule um 4 cm, in 48 Stunden um weitere 2 cm. Das wenige Wasser musste durch die Membranen diffundirt sein, da die Intercellularen der Markstrahlen sofort capillar verstopft werden. — Bei einem anderen, mit der Wasserstrahlluftpumpe injicirten, 5 cm hohen, radialen Cylinder aus dem Splinte der Edeltanne gelang es auch bei 90 cm Quecksilberdruck nicht, merkliche Wassermengen durchzupressen. Als hierauf der Cylinder auf 2,5 cm gekürzt wurde, fiel die Quecksilbersäule in 3 Tagen von 90 auf 86,5 cm.

Ein 2,5 cm hoher, radialer Cylinder, aus dem Kern des frischen Tannenholzes geschnitten, liess bei einem Drucke von

1) Mikroskop, II. Aufl., p. 367.

90 cm Quecksilber ebenfalls kein Wasser durch. Das Quecksilber fiel zwar in 24 Stunden um einige Centimeter, doch nur weil der untere Theil des Kernholzcylinders sich mit Wasser imbibirt hatte.

Ein ganz entsprechendes Resultat hat auch Sachs [1]) mit einem 2,55 cm hohen, radialen, mit Wasser fast gesättigten Cylinder der Edeltanne gewonnen. Dieser Cylinder wurde einem Wasserdruck von 160 cm unterworfen. In den ersten Stunden filtrirte kein Tropfen heraus, nach 24 Stunden fanden sich 2,3 ccm Filtrat.

Auch Elfving [2]) stellte fest, dass das Wasser durch radiale Cylinder aus Tannenholz sich nicht pressen lässt. Ein radialer Cylinder aus feuchtem Splintholz (von 2—3 cm Höhe) stand 2 Tage unter einem Druck von 40 cm Quecksilber, ohne dass ein Tropfen Wasser hindurchtrat. Ebensowenig liessen selbst nur 1—2 mm dicke Cylinder, bei Druck und Saugung mit Kautschukschlauch, einen Wassertropfen durch, während dies entsprechende tangentiale Cylinder thaten.

Ebenso giebt Boehm [3]) für Taxusholz an, dass ein radialer, kaum 1 cm dicker Cylinder aus demselben, auch bei dem Druck einer Atmosphäre kein Wasser durchlässt.

Es war zu erwarten, dass das Kernholz der Kiefer, weil es an Kernstoffen viel reicher als das Kernholz der Edeltanne ist und Harzausfüllungen der Hoftüpfel aufweist, viel undurchlässiger für Wasser sein würde. Das ist auch in der That der Fall. Die Injection mit Wasser, welche dem Versuch vorausgehen musste, wurde auch hier, wie bei der Edeltanne, durch anhaltendes Kochen in Wasser erzielt. Das Untersinken des Holzstückes in Wasser zeugte für dessen Sättigung. Ein Druck von 80 cm Quecksilber vermochte nur sehr wenig Wasser durch einen 8 cm langen Radialcylinder durchzupressen, das Quecksilber sank in 15 Stunden nur um 8 cm. Spätholz war entschieden durchlässiger als das mit verschlossenen Hoftüpfeln versehene Früh- und Folgeholz. — Kernholzcylinder aus Alcoholmaterial waren für diesen Versuch nicht zu brauchen,

---

1) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, p. 297.

2) Ueber die Wasserleitung in Holz, Bot. Ztg. 1882, Sp. 713.

3) Les causes de l' ascension de la sève. Ann. d. sc. nat., Bot., VI. Sér., T. VI, p. 226; Warum steigt der Saft in den Bäumen, Wien 1878.

da das Harz aus den Harzgängen entfernt und diese damit für den Durchgang das Wassers offen standen.

Ein 6 cm langer Längscylinder, aus dem Splint einer frisch gefällten Kiefer geschnitten, liess mit dem Augenblicke Luft durch, wo ich Quecksilber aufzugiessen begann. Durch directe Beobachtung bei hinreichend starker Vergrösserung wurde festgestellt, dass dieser Austritt aus den besonders im Spätholze vertretenen Harzgängen erfolgte.

So brachten die Harzgänge auch Fehlerquellen in alle sonstigen Versuche mit Kieferholz hinein, weshalb ich von der Benutzung dieses Holzes alsbald Abstand nahm.

Aus demselben Grunde begnügte ich mich auch bei der Fichte damit, nur einen durch Kochen injicirten, 8 cm langen Radialcylinder aus dem Kernholze auf seine Durchlässigkeit für Wasser zu prüfen. Auch dieser Cylinder liess bei 80 cm Quecksilberdruck in 18 Stunden so wenig Wasser durch, dass das Quecksilber nur um 15 cm fallen konnte. Etwas durchlässiger, als das Kernholz der Kiefer, erwies sich immerhin dasjenige der Fichte, was auch leicht verständlich, da es harzärmer war [1]).

Aus dem Kernholz der Kiefer wie der Fichte alle Luft mit der Wasserstrahlluftpumpe zu entfernen, wollte nicht gelingen.

In longitudinalen Kernholzcylindern, sowie auch in ebensolchen Splintholzcylindern mit geschlossenen Hoftüpfeln, bevorzugte das Wasser wiederholt die Spätholztracheïden bei der Filtration. Das veranlasste mich, in einigen Fällen das Wasser des Apparates durch Eosin-Wasser zu ersetzen und mit diesem die Bahnen des Durchgangs zu bezeichnen. Der Eosin-Wasserdruck wurde auf 90 cm gebracht. Die mikroskopische Untersuchung ergab dann in der That eine dunklere Tinction des Spätholzes. Diese Erscheinung lässt sich leicht aus dem Umstande erklären, dass die weiteren Hoftüpfel in beiden Holzcylindern geschlossen, die engen Hoftüpfel, die sich ja nicht

1) Die Nichtberücksichtigung der Harzgänge der Holzstränge wie der Markstrahlen hat Fehlerquellen in ältere Arbeiten über Durchpressung von Luft und Wasser durch Coniferenholz gebracht. So fand Dassen (Ueber die Saftbewegung in den Pflanzen, Froriep's neue Notizen, Bd. XXXIX, p. 145), dass sich Wasser durch radiale Cylinder aus Fichtenholz ganz ausserordentlich leicht pressen lasse, p. 151, 152.

schliessen, offen waren, und dadurch das Spätholz in Vortheil kam. Bei dieser Untersuchung wurde zugleich constatirt, dass die weiteren Tüpfel des gekochten Splintholzcylinders beim Trocknen an der Luft wirklich geschlossen worden waren, und auch bei der Injection mit Wasser dann geschlossen blieben.

Dass die Schliesshäute in den engen Hoftüpfeln der Spättracheïden unter extremen, künstlich veranlassten Bedingungen, auch so stark in die Tüpfelkanäle hineingesogen werden können, dass sie in denselben fixirt bleiben, stellte ich an einem Zweige von Tsuga canadensis fest. Dieser Zweig hatte, in ein mit Wasser gefülltes Gefäss luftdicht eingesetzt, in Folge der durch Transpiration bedingten Wasseraufnahme das Quecksilber 68 cm gehoben. Dann drang allmählich Luft durch den Zweig in den Apparat ein, und er kam schliesslich ausser Wasser. Die Untersuchung des Holzkörpers in den unteren Theilen des Zweiges zeigte nun die eben angeführte Erscheinung. Die Schliesshäute sämmtlicher Hoftüpfel waren extrem angesogen, die Tori auch der engen Spätholztüpfel zum Theil in die Tüpfelkanäle hineingewölbt. Selbst die tangentialen Tüpfel zeigten, soweit die Controle reichte, ihre Schliesshaut aspirirt, und zwar in der Richtung nach aussen.

Von dem Alcohol-Material eines älteren Stammes der Edeltanne spaltete ich radiale Keile ab, welche den Splint in sich fassten. Dieselben wurden mit dem Querschnitt in Eosin-Wasser gesetzt. Sechs Stunden später, nachdem sie sich durchfärbt hatten, legte ich sie frei zum Trocknen hin. Nach zwölf Stunden waren diese Stücke in ihren äusseren Theilen völlig ausgetrocknet, im Innern noch feucht. Tangentiale Längsschnitte wurden nun in Glycerin untersucht. Die Schliesshäute zeigten sich schön gefärbt und nach innen zu aspirirt. Dieses Verhalten erklärt sich leicht, da Luft von aussen nach innen in den Holzkeil nur langsam vordringen und daher die negative Spannung nach innen zu wachsen musste. Stellenweise kamen Abweichungen vor, durch locale Ursachen jedenfalls veranlasst. Im Allgemeinen zeigten sich alle Schliesshäute auf derselben Seite einer Tracheïde in gleicher Richtung aspirirt. Ausnahmen konnten aber, wie ich das früher schon entwickelt habe, durch den Umstand bedingt werden, dass die Tracheïden auf derselben Seite an verschiedene Nachbarrinnen grenzen. Auch mag wohl, wenn auch nur selten, wenn sich die ursprüngliche

Druckvertheilung ändert, eine oder die andere, noch nicht definitiv fixirte Schliesshaut ihre Lage ändern. — In lufthaltigen Schnitten, die ich in Glycerin untersuchte, vermochte dieses alsbald in die Tracheïdenlumina einzudringen, nicht so in die Hoftüpfelräume, die längere Zeit die Luft festhielten.

Von den verschiedenen Ansichten, welche über die Bedeutung der Hoftüpfel ausgesprochen wurden, hat sich diejenige von Russow [1]) am meisten der Wirklichkeit genähert. Russow erklärte den Hoftüpfel als Klappenventil, was in der That zutrifft. Ueber die Art, wie dieses Klappenventil functionirt, haben aber, so hoffe ich, die hier niedergelegten Untersuchungen einigen Aufschluss gegeben. Russow glaubte noch annehmen zu müssen, dass die durch Coniferenholz gepresste Luft den Weg durch Intercellularen einschlage [2]). Von dem Torus meint er, dass er sehr schwer für Luft permeabel sei, was er thatsächlich nur in feuchtem Zustande und nicht in so hohem Grade ist. Dass auch der Margo, wenigstens so lange er feucht ist, für Luft wenig permeabel sei, schliesst Russow mit Recht aus der Aspiration der Schliesshäute, die sonst nicht möglich wäre [3]). Für Wasser soll der Torus eben so wenig wie die Mittellamelle permeabel sein. Thatsächlich erschwert er nur, wie wir gesehen haben, eine rasche Filtration. Vom Margo der Schliesshaut nimmt Russow mit Recht an, dass er für Wasser in so hohem Grade permeabel sei, dass er durch den Druck des nachgesogenen und hindurchfiltrirenden Wassers nicht bis zum vollständigen Anschluss des Torus an die Hofwand dilatirt wird. Russow gründete diese seine Annahmen auf anatomische Befunde; dieselben haben, soweit zutreffend, im Vorangehenden ihre experimentelle Begründung gefunden. Auf die Deutung des gesammten Hoftüpfels als eines capillar äusserst wirksamen Raumes, der mit Wasser angefüllt luftdichte Verschlüsse herzustellen vermag, und der das Wasser energisch festhaltend, zugleich auch die Schliesshaut vor dem Trockenwerden schützt, war Russow noch nicht gekommen. Hingegen sprach

---

1) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 95.

2) l. c. p. 104.

3) l. c. p. 105.

sich Elfving schon dahin aus, dass es „denkbar sei", dass die Tüpfelmembranen bei sehr starker Transpiration durch das in den engen Höfen festgehaltene Wasser vor Austrocknen geschützt würden und dass die Function des Hofes somit eine schützende sei [1]). Die Vorstellung von Godlewski [2]), dass dem Torus dieselbe mechanische Bedeutung zukomme wie dem Platinconus, welchen die Chemiker in den Trichter unter dem Filter einsetzen, wenn mit Hilfe der Luftpumpe schnell filtrirt werden soll, lässt sich dem Vorausgehenden gegenüber nicht mehr halten, wohl aber zugeben, dass die Hoftüpfel auch einen ihren Functionen entsprechenden mechanischen Aufbau zeigen. Dass die relativ grosse Dicke des Torus die stark aspirirte Schliesshaut vor dem Zerreissen schützt, ist sicher zutreffend und entschieden von Vortheil, dass der Torus mit seinen sonstigen Eigenschaften diese Dicke verbindet. — Auch die Vorstellung, welche sich R. Hartig [3]) von der Function der Schliesshaut bildete, lässt sich durch die Versuchsergebnisse nicht decken. „Die Substanz der Schliesshaut", meint R. Hartig, „ist mit Wasser gesättigt und ist für Wasser völlig undurchlassend, sobald der Druck von beiden Seiten ein gleich grosser ist. Sobald aber durch eine noch so geringe Druckdifferenz die Schliesshaut und die verdickte Platte von einer Zelle zur andern gedrängt und hierdurch eine Ausdehnung der elastischen, zarten Haut herbeigeführt wird, treten deren Molecüle weiter auseinander und werden nun für Wasser durchlässiger, so lange, bis entweder die Druckdifferenz wieder aufhört oder andererseits eine gewisse Grösse überschreitet." „In diesem Falle verhindert aber", meint R. Hartig, „die vor den Tüpfelkanal sich legende, verdickte Scheibe jede weitere Ausdehnung der zarten Schliesshaut und deren Zerreissung, zugleich allerdings auch die Filtration des Wassers durch diesen Tüpfel. Erst wenn etwa durch Abfluss oder Zufluss des Wassers von anderen Seiten her die Druckdifferenz sich gemindert hat und die Gefahr des Zerreissens vorüber ist, functionirt der Tüpfel wieder fort". Nach R. Hartig soll der eigenartige Bau der Schliesshaut somit dazu dienen, bei gleich grossem Druck das

1) Ueber die Wasserleitung im Holz, Bot. Ztg., 1882, Sp. 719.

2) Zur Theorie der Wasserbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 614.

3) Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, III, p. 77

Wasser in den einzelnen Tracheïden zu tragen; sie müsse in ihrem zarten Theile gerade Widerstandsfähigkeit genug besitzen, „den Druck der im Lumen der Zelle enthaltenen, über dem Tüpfel stehenden Wassersäule auszuhalten, ohne das Wasser durchfiltriren zu lassen, und dass sie erst dann, wenn zu diesem Normaldruck, unter dem sie ja gewissermaassen entstanden ist, noch die Druckdifferenz der beiderseitigen Luftblasen hinzukommt, sich so ausdehnt, dass sie die Eigenschaften des Filters annimmt.“ — Dass endlich, die ganze Einrichtung des Hoftüpfels, wie es Schwendener[1]) will, nur eine mechanische sei, und dem Bedürfniss entspreche, die Diffusionsfläche zu vergrössern, ohne die Festigkeit der Wand mehr als nöthig zu beeinträchtigen, dürfte sich wohl noch weniger vertheidigen lassen. Dass diese Vorstellung unhaltbar ist, hätte schon aus der Betrachtung solcher Hoftüpfel, wie sie dem tracheïdalen Parenchym des Centralcylinders der Pinus-Nadeln zukommen, gefolgert werden können. Dort sind nämlich oft die Zellwände nur relativ schwach verdickt und Höfe denselben alsdann beiderseits gleichsam aufgesetzt. Die Höfe haben dort somit sicher nichts mit der Festigkeit der übrigen Wand zu thun, sind vielmehr deutlich besondere Apparate, die im Verein mit der bestimmt gebauten Schliesshaut, in bestimmter Weise zu functioniren haben.

Dass die Bedeutung der Hoftüpfel in den trachealen Bahnen der Angiospermen keine andere ist wie in denjenigen der Gymnospermen, verlangt wohl keines weiteren Beweises. Ueberall sind solche Hoftüpfel als Verschlüsse in den Tracheïden des secundären Zuwachses angebracht und stellenweise schliessen sie auch die Enden der Gefässe ab. Diese Abschlüsse ermöglichen in allen Fällen, wo sie vorhanden sind, das Zustandekommen negativer Spannungen in einzelnen Abschnitten der Bahn, oder in seitlich angrenzenden, durch Hoftüpfel verbundenen Bahnen und somit auch die Ausschaltung einzelner Bahnen aus der Wasserleitung. Diese Eigenschaften der Hoftüpfel sind jedenfalls auch die Ursache, warum die geschlossenen, des Dickenwachsthums ermangelnden Gefässbündel der Mono-

1) Die Schutzscheide und ihre Verstärkungen, Abhandlung. der Berl. Akad. d. Wiss. Bd. XLII, 1882, p. 922, Sep. Abdr. p. 19, auch Paul Schulz, Das Markstrahlgewebe, Jahrb. d. Kgl. Bot. Gartens zu Berlin, Bd. II, p. 233.

cotylen an ihren unteren Enden, bevor sie an andere Gefässbündel anschliessen, mit Hoftüpfeln ausgestattete Tracheïden führen. Die Ausbildung anderer Verdickungsarten an den Wänden trachealer Elemente, so von Ringen und Schraubenbändern, muss nothwendig während des Längenwachsthums erfolgen; diese sind aber in Pflanzen von bedeutenderer Höhe nur leistungsfähig in Verbindung mit den behöft getüpfelten Elementen. Letztere allein sind auf zeitweise Entleerung eingerichtet. Sie werden daher für gewöhnlich auch bei krautartigen Pflanzen den Schrauben- und Ringgefässen zugesellt, dienen eventuell in einzelnen Strecken der Bahn nur als Wasserbehälter. So in den primären Gefässbündeln der Monocotylen, deren Wasserbahn, wie wir das bei Zea und bei den Palmen im einzelnen verfolgten, sich innerhalb eines jeden Gefässbündels nach aufwärts erweitert. Die weiteren getüpfelten Gefässe der oberen Abschnitte solcher Bahnen dürften bei reichlicher Wasserzufuhr vornehmlich der Wasserspeicherung dienen, hierauf aber entleert und während dieser Zeit durch die Hoftüpfel abgeschlossen werden. Die geringere Weite der Ring- und Schraubengefässe befähigt diese hingegen, mit besonderer Energie das Wasser in sich zu ziehen und daher die Entleerung der weiteren behöft getüpfelten Bahnen zu bewirken. Diese engen Bahnen setzen auch ihrer Entleerung von Wasser grossen Widerstand entgegen und halten ihr Wasser fest, wenn kein neues nachfliesst. Für lang andauernde Thätigkeit werden solche unbehöft getüpfelte Gefässe an keiner Stelle angelegt, und sehen wir daher, dass auch bei Monocotylen, welche Dickenwachsthum besitzen, die wasserleitenden Elemente dieses Dickenwachsthums behöft getüpfelt sind. Die nicht behöft getüpfelten trachealen Elemente bilden bei Gymnospermen und Dicotylen nur die Enden der Wasserbahn und kommen alsbald ausser Function. An ihre Stelle treten behöft getüpfelte Elemente in dauernde Thätigkeit. Das Schraubenband, welches die engen wasserleitenden Elemente führen, scheint aber das Wassersteigen zu fördern, denn es wird oft auch in behöft getüpfelten Elementen als tertiäre Verdickungsschicht angebracht. Ebenso sind schraubige Differenzirungen der secundären Verdickungsschichten in behöft getüpfelten Elementen der Coniferen eine häufige Erscheinung und macht sich vielfach eine schraubige Anordnung der Tüpfel selbst kenntlich. Dass aber die Leitungsbahnen

auch mit Hoftüpfeln allein ohne schraubige Differenzirungen der Wand auskommen können, zeigt das Verhalten solcher Pflanzen, welche der letzteren entbehren. Enge, dünnwandige, ring- oder schraubenförmig verdickte Gefässtracheïden sind im Allgemeinen in saftreiches Gewebe eingebettet, wodurch die Gefahr eines Austrocknens ihrer Wand wesentlich herabgesetzt wird. So dünnwandige wasserleitende Elemente dürften zwischen luftführenden ausgeschlossen sein. Für die engen Ring- und Schrauben-Gefässtracheïden, welchen die Abgabe des Wassers an die umgebenden Gewebe vornehmlich obliegt, ist aber die Dünnwandigkeit von wesentlicher Bedeutung, weil sie die Wasserabgabe an die Umgebung erleichtert. Wo behöft getüpfelte Elemente in Verbindung mit lebendigen Elementen treten, Wasser an dieselben abgeben, Inhaltsstoffe von denselben empfangen sollen, werden dünnwandige Stellen in Gestalt entsprechend ausgestatteter Tüpfel an ihnen angebracht. Sehr saftreiche Pflanzen, deren gesammter Körper als Wasserreservoir eingerichtet ist, mögen ohne behöft getüpfelte Elemente ganz auskommen. So scheint es unter grösseren Pflanzen bei Musa-Arten zu sein. In dem unteren Theile eines Stammes von Musa Cavendishii, den ich untersuchte, waren in der That auch die grössten, bis 0,125 mm weiten Gefässe mit abrollbaren Schraubenbändern versehen. Ebenso werden für das Holz der Mamillarien, von Echinocactus- und Melocactus-Arten nur schrauben- und ringförmig verdickte Gefässe und Tracheïden angegeben[1]), und bemerkt de Bary, dass netzfaserig verdickte Gefässe in saftigen, weichen Holzkörpern, wie dem Stamm der Papayaceen, vielen fleischigen Wurzeln, ausschliesslich oder vorherrschend vorhanden sind.

Der Abschluss offener oder todter Stellen an der Wasserbahn.

Dass selbst ein Baum, dem sämmtliche Aeste genommen wurden, nicht vertrocknet, und seine Wasserbahnen ihre Leistungsfähigkeit nicht einbüssen, hängt vor allem mit dem selbstthätigen Mechanismus der Hoftüpfel zusammen, wird unter Umständen auch durch die capillaren Verschlüsse an den verengten Stellen der Gefässe bedingt. In der That kann die

1) de Bary, Vergl. Anat., p. 493.

Luft in die geöffneten Wasserbahnen nur so weit eindringen, bis dass sie auf eine mit Hoftüpfeln verschlossene Scheidewand oder auch auf verengte, capillar mit Wasser verstopfte Stellen der Gefässe trifft. Einige wenige Scheidewände, die nur Hoftüpfel führen, werden genügen, um einem raschen Vordringen der Luft Einhalt zu thun. Ebenso genügt, wie wir gesehen haben, eine relativ geringe Anzahl entsprechend verengter, das Wasser energisch festhaltender Stellen in Gefässen, um selbst einem vollen Atmosphärendruck das Gleichgewicht zu halten. Ist aber das Vordringen der Luft eine Zeitlang sistirt, so gewinnen die anderen Verschlüsse, die auf Lebensthätigkeit beruhen, Schutzgummi und Thyllen, Zeit, sich auszubilden. An Tracheïden werden die Schliesshäute, sobald das Wasser durch Verdunstung verloren geht, aspirirt und geringe Mengen von Verschlussmasse, die in die Hoftüpfelräume eingesogen wird, genügen, um den Verschluss perfect zu machen. In geöffnete, weite Gefässe wird die Luft unter Umständen recht tief eindringen können, wobei aber nachweisbar die Function der angrenzenden engen Elemente nicht leidet. Ich erinnere daran, dass in einem Aststücke von Glycine, von etwa 1 m Länge, das Eosin-Wasser sehr gut stieg und bald die obere Schnittfläche erreichte, während alle weiteren Gefässe nachweisbar mit Luft erfüllt waren. Der Aufstieg erfolgte eben nur in den engen Gefässen. Aus den weiten Gefässen solcher Aststücke muss das Wasser ausfliessen, sobald die entsprechenden Verschlüsse fehlen, doch das hindert die mit Verschlüssen versehenen Elemente nicht in ihrer Function. Die lebendigen Elemente, welche ein geöffnetes, mit Luft angefülltes Gefäss umgeben, sorgen aber bald für dessen Verschluss. Nur wo die Pflanze in ihrer Wasserbahn auf weite Gefässe allein angewiesen ist, muss ein selbstthätiger Verschluss rasch eingreifen. Daher auch bei Ficus-Arten, Albizzien, Acacien und Weiden für entsprechende Verengungen an den Anschlussstellen der Gefässe Sorge getragen ist.

Wie gering für solche Pflanzen, wie die Coniferen, deren Holzkörper nur aus Tracheïden besteht, die Gefahr ist, durch eindringende Luft zu leiden, lehrten uns unmittelbar unsere Versuche mit Radialcylindern aus Tannenholz, welche unter möglichst ungünstigen Bedingungen 30 cm Quecksilber heben konnten, ohne tiefer als in den äussersten Tracheïdenlagen auszutrocknen. Die erste mit Gefässen im secundären Zuwachs

versehene Gymnosperme, Ephedra, hat aber in den Querwänden dieser Gefässe hoftüpfelartig eingefasste Oeffnungen aufzuweisen, welche äusserst wirksam das Wasser festhalten müssen. Der definitive Verschluss wird dann durch Harzbildung vollzogen. — Ich habe eine Anzahl von Coniferen, an welchen ich Zweige absägen und die Schnittflächen mit scharfen Messern glatt schneiden liess, auf den erfolgten Verschluss untersucht. Dieselben boten annähernd übereinstimmendes Verhalten. Ich fand die Schliesshäute in allen weiteren Tracheïden bis zu einer bestimmten, doch nie bedeutenden Entfernung von der Schnittfläche aspirirt, die Tüpfel der Spättracheïden offen. Auf den raschen Verschluss dieser letzteren kam es somit nicht an, das Eindringen von Luft in dieselben verursachte augenscheinlich keine Störung. Weiterhin wurde aber der Verschluss mit Harz vollzogen. Untersucht habe ich Kiefer, Fichte, Tsuga und Eibe. In den harzreichen Aststumpfen von Pinus zeigten sich die meisten Hofräume der Tüpfel mit Harz erfüllt. Das Harz war oft deutlich in den Tüpfelraum eingesogen worden, so dass ein Theil des Tropfens noch ausserhalb des Hofraumes, der andere in demselben sich befand und oft den Eindruck erweckte, als habe er die Schliesshaut gegen die Hofwandung gedrängt.

Nach Weber [1]) und nach Wieler [2]) beginnt bei den dicotylen Hölzern die Bildung von Schutzgummi und Thyllen schon sehr bald nach der Verwundung. Nach Weber in 10 bis 24, nach Wieler schon in den allerersten Stunden. Mit Schutzgummi oder durch Thyllen verstopfte Gefässe sind aber so gut abgeschlossen, dass selbst ein Druck von 1 bis 3 Atmosphären nach Boehm und Anderen [3]) nicht ausreicht, um Luft oder Wasser durch dieselben zu pressen.

---

1) Ueber den Einfluss höherer Temperaturen auf die Fähigkeit des Holzes, den Transpirationsstrom zu leiten, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesellsch., 1884, p. 367.

2) Ueber den Antheil des secundären Holzes der Dicotyledonen-Gewächse an der Saftleitung und über die Bedeutung der Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Fläche, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIX, p. 106.

3) Boehm, Ueber Function und Genesis der Zellen in den Gefässen des Holzes, Sitzber. d. Wien. Akad. d. Wiss., Bd. LV, II. Abth., 1867, p. 852. Vergl. ausserdem vornehmlich Molisch, Zur Kenntniss der Thyllen, nebst Beobachtungen über Wundheilung in der Pflanze, Ebend. Bd. XCVII, I. Abth., 1888, p. 285.

Gegen innere beschädigte und absterbende Theile schliessen sich die Wasserbahnen nicht anders als gegen offene Wunden ab [1]).

Dass Tüpfelverschluss, Harzbildung, Schutzgummi und Thyllen zusammenwirken und auch das Kernholz unwegsam machen und vor Zersetzung bewahren, daran möchte ich hier nur erinnern [2]). Wie die Harzverschlüsse für Coniferenholz, sind Gummiverschlüsse nach Molisch besonders für Rosifloren, Ebenaceen und Mimosen charakteristisch, während die Laurineen, Urticaceen, Moreen, Artocarpeen, Ulmaceen, Anacardiaceen, Vitaceen und Aristolochiaceen zum Thyllenverschluss neigen. Gummibildung neben Thyllen ist freilich auch in den letztgenannten Familien nicht ausgeschlossen, wie auch bei Rosifloren in untergeordnetem Grade Thyllenbildung eintreten kann. Dass übrigens auch nahe verwandte Pflanzen ihre Gefässe in verschiedener Weise verschliessen können, zeigt Robinia Pseudacacia die vorzugsweise Thyllen und Amorpha, welche Gummi bildet [3]).

Der Th. Hartig'sche Tropfenversuch und die Filtrationswiderstände.

In dem bekannten Th. Hartig'schen Versuche veranlasst ein Tropfen, den man der oberen Querschnittsfläche eines wasserreichen Stammstückes aufsetzt, alsbald das Hervortreten eines entsprechenden Tropfens aus der unteren Querschnittsfläche. Diese Erscheinung ist sehr verschieden gedeutet worden, vornehmlich in dem Sinne, dass selbst kleinste Druckunterschiede in den Wasserbahnen des Holzkörpers ausgeglichen werden können, und dass ein äusserst geringer einseitiger Druck im Stande sei, die Filtration des Wassers auf weite Strecken hin zu veranlassen. Thatsächlich folgt dies, wie Godlewski [5]) zuerst zeigte,

1) Vergl. Weber, l. c. p. 367; Janse, Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 24.

2) Vergl. hierzu vornehmlich Molisch, l. c. p. 286.

3) Ebendas.

4) Ueber die endosmotischen Eigenschaften der Pflanzenhäute, Bot. Ztg., 1853, Sp. 311.

5) Zur Theorie der Wasserbewegung in den Pflanzen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XV, p. 585 ff.

aus dem Th. Hartig'schem Versuche noch nicht. — Das Hervortreten eines Wassertropfens am unteren Querschnitt der Versuchsobjecte ist nicht eine Folge desjenigen geringen Druckes, welchen die auf der oberen Schnittfläche angebrachte Wasserschicht ausübt, sondern sie ist eine Folge der Druckwirkung der ganzen Wassersäule, welche im Holz enthalten ist. Der dem oberen Querschnitt aufgesetzte Tropfen hebt die Wirkung der Menisken auf, mit welchen die Wasserfäden der geöffneten Elemente abschliessen, vor allem aber kann er durch die Schliesshäute eingesogen werden, welche für Wasser leicht, für Luft sehr schwer permeabel sind, und an welchen somit die Wasserfäden durch Luftdruck aufgehängt sein müssen. Sobald aber der Tropfen eingesogen ist, sind die vorhergehenden Verhältnisse wieder hergestellt und ein weiterer Austritt von Wasser aus der unteren Schnittfläche sistirt. Aus dem Th. Hartig'schen Tropfenversuch folgt somit, wie auch Godlewski bereits hervorhebt, nur, dass die Summe der Filtrationswiderstände sämmtlicher zu passirender Tüpfelwände geringer ist, als der Druck einer der Länge des zum Experimente benutzten Sprossstückes gleich hohen Wassersäule [1]).

Dass thatsächlich ein aus Coniferenholz longitudinal geschnittener Cylinder nicht allein die Wassersäule, die er einschliesst, sondern auch noch eine Quecksilbersäule von 30 cm, in Folge der geringen Durchlässigkeit der mit Luft erfüllten Hoftüpfelräume und der imbibirten Schliesshäute, tragen kann, haben wir zuvor gesehen.

Ebenso gestatten uns unsere Versuche einen Einblick in das verschiedene Verhalten, welches Stammtheile, je nach ihrem inneren Zustande, dem Th. Hartig'schen Versuch gegenüber zeigen müssen.

Der einfacheren Verhältnisse wegen halten wir uns zunächst an die Nadelhölzer. Ein frisch geschnittenes Stammstück, dem oben ein Tropfen aufgesetzt wird, kann Wasser aus der unteren Schnittfläche erst dann austreten lassen, wenn alle negative Luftspannung innerhalb seiner thätigen Wasserbahnen sich ausgeglichen hat. Solange das nicht geschehen, müssen die an der oberen Schnittfläche aufgesetzten Wassertropfen im Holzkörper verschwinden. Die einzelnen Wasserbahnen müssen des

1) l. c. p. 589.

Weiteren so wasserreich sein, oder so wasserreich werden, dass der Widerstand der Scheidewände und Luftblasen nicht mehr genügt, den Wasserfaden zu tragen. Von diesem Augenblick an ist erst letzterer labil suspendirt, und jeder weiter zugesetzte Tropfen veranlasst einen entsprechenden Ausfluss aus der unteren Schnittfläche. Dass dieser Sättigungszustand der Bahnen bei Stammstücken von bedeutender Länge nicht immer durch Aufsetzen von Tropfen zu erreichen ist, hat bereits Schwendener[1]) hervorgehoben. Ein besonders rasches Einsinken der auf die obere Schnittfläche der Stammstücke aufgesetzten Tropfen und demgemäss auch ein bereits rasches Hervortreten der entsprechenden Wassermenge aus der unteren Querschnittsfläche wird man erreichen, wenn man die betreffenden Stammstücke mit Wasser injicirt. Auch in einem vollständig injicirten, in Wasser untersinkenden Stammstück vermag aber der Luftdruck das gesammte Wasser zu tragen, so dass kein Tropfen aus der unteren Schnittfläche ausfliesst, solange nicht der haltende Einfluss des Luftdruckes an der oberen Schnittfläche aufgehoben wird.

So fand bereits Sachs[2]), dass Tannenholz für die aufgesetzte Wasserschicht eine gleiche Wassermenge aus der unteren Schnittfläche erst dann hervortreten lässt, wenn es einen gewissen, nicht allzu geringen Wasserreichthum besitzt, dass es aber keineswegs nöthig ist, dass es mit Wasser gesättigt sei. „Aber auch sehr wasserreiches, fast gesättigtes Holz, welches kaum noch im Stande ist, Wasser von aussen aufzusaugen, thut es.“

Bei den gefässhaltigen dicotylen Hölzern werden die Bedingungen des Experimentes durch die Gefässe etwas verändert. Bringt man Stammstücke in aufrechte Stellung, nachdem man dieselben mit Wasser injicirt hat, so fliesst letzteres zum Theil aus, falls die Länge des Stammstücks eine bestimmte Grenze überschreitet. Diese Grenze wird durch die capillare Tragkraft seiner Gefässe bestimmt. — Ist das Stammstück zu lang, so fliesst somit ein Theil des Wassers aus den Gefässen heraus. Während man dasselbe an der unteren Schnittfläche sich sammeln

1) Untersuchungen über das Saftsteigen, Stzb. der Akad. d. Wiss. zu Berlin, Bd. XXXIV, p. 19.

2) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg, Bd. II, p. 303.

sieht, schwindet es in den Gefässen an der oberen Schnittfläche. Es bleibt erst in derjenigen Höhe innerhalb derselben stehen, die ihrer capillaren Tragkraft entspricht, es sei denn, dass es zuvor schon an einer durch Hoftüpfel verschlossenen Scheidewand, oder an verengten capillar verschlossenen Stellen durch Luftdruck hängen blieb. Ist aber auch hier das Gleichgewicht hergestellt, so veranlasst jeder der oberen Schnittfläche aufgesetzte Tropfen, indem er die Suspension in den Tracheïden und Gefässen aufhebt, einen entsprechenden Ausfluss an der unteren Schnittfläche.

Den wirklichen Filtrationswiderstand innerhalb solcher Stammabschnitte, welche ein Durchsinken von Wasser bei Anstellung des Th. Hartig'schen Versuchs zeigen, suchte Schwendener[1]) dadurch zu erfahren, dass er die Neigung bestimmte, bei welcher solche Stammabschnitte aus dem tiefer gelegenen Querschnitt zu schwitzen beginnen. Der Versuch ergab, dass ein saftreicher Spross von 1 m Länge schon bei einer Neigung von etwa 7° gegen die Horizontale diese Erscheinung zeigt. Eine Wassersäule von etwa 12 cm reichte somit schon aus, um das ganze 1 m lange „Wassernetz" zu verschieben. Andere Sprosse verlangten für die gleiche Erscheinung pro Meter einen erheblich stärkeren Druck, ein Ast von Ginkgo biloba beispielsweise 28 cm Wasser. Derselbe Ginkgospross ergab dann aber auch nach zweitägigem Liegen in Wasser nur noch 10 bis 12 cm Widerstand pro Meter.

Ich habe derartige Versuche mit dem gleichen Ergebniss wie Schwendener wiederholt. Um aber wirklich vergleichbare Resultate zu erzielen, injicirte ich die Aststücke zuvor mit der Wasserstrahlluftpumpe. Da stellte sich dann, was wohl vorauszusehen war, heraus, dass bei annähernd luftfreien Wasserbahnen ein solches Schwitzen aus der unteren Schnittfläche um so leichter erfolgt, je weiter die Gefässe des betreffenden Holzes sind. Dann habe ich im Besonderen noch 1 m lange Aststücke von Tsuga, deren Holzkörper nur auf Tracheïden für die Wasserleitung angewiesen ist, mit einem annähernd gleich starken Aststücke der Bruchweide verglichen, die nur Gefässe von mässiger Weite als Wasserbahnen besitzt. Bei Tsuga musste das eine Ende des Zweigstückes, entsprechend den An-

1) Unters. über das Saftsteigen, l. c. p. 579.

gaben von Schwendener, um etwa 12 cm gehoben werden, damit das andere Ende die Erscheinung des Schwitzens zeige, bei der Weide genügte hierzu eine entsprechende Hebung um 8 bis 10 cm. In den benutzten Aststücken der Weide bestimmte ich den mittleren Durchmesser der Gefässe auf 0,06 mm, deren Zahl beiläufig auf 80 pro Quadratmillimeter. — Sobald die zu den Versuchen benutzten Aststücke lufthaltig sind, hört selbstverständlich jede Möglichkeit eines Vergleichs auf. Können doch die Werthe für ein und dasselbe Aststück, je nach seinem Luftgehalt, in sehr weiten Grenzen schwanken, und schliesslich auch ein in aufrechte Stellung gebrachtes Zweigstück aufgesetzte Tropfen nicht mehr durchlassen.

Der Versuch, durch allmähliche Steigerung des Neigungswinkels gegen die Horizontale die Filtrationswiderstände innerhalb der Wasserbahnen des Holzkörpers zu bestimmen, kann aber auch nur einen relativen Werth beanspruchen, und sind daher auch die von Schwendener auf solche Versuche gestützten Berechnungen anfechtbar. Thatsächlich geben derartige Versuche nur den Grenzwerth für diejenige Verschiebung der Wasserfäden im Innern des Versuchsobjectes an, die sich mit einer bestimmten, unmittelbar controlirbaren Geschwindigkeit vollzieht.

Bereits Janse hatte darauf hingewiesen, dass sich selbst kleinste Druckdifferenzen durch die Schliesshaut ausgleichen, wenn die erforderliche Zeit hierzu gegeben ist, und dass diese Zeit mit abnehmendem Druck bedeutend wächst. Janse fand, dass zu einem solchen Ausgleich vielfach Tage erforderlich sind. Ich kann hinzufügen, dass sich dieser Ausgleich noch viel rascher vollziehen kann, wenn die benutzten Aststücke entsprechend wasserreich sind. Tsuga- und Weidenaststücke von 20 cm Länge, die so wasserreich waren, dass sich der Th. Hartig'sche Versuch mit ihnen ausführen liess, gaben, in U-Rohre von einer ihrem Durchmesser entsprechenden Weite eingeschaltet und bei einer ursprünglichen Niveaudifferenz von 50 cm Wasser, einen Niveau-Ausgleich in 8—12 Stunden. Dieser Ausgleich vollzog sich bei der Weide, die das Wasser in ihren Gefässen leitet, rascher als bei der auf Tracheïdenleitung angewiesenen Tsuga.

1) Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 36.

Während die Niveaudifferenz in den ersten Minuten sich um mehrere Centimeter verringerte, vergingen Stunden, bis dann der Ausgleich der beiden letzten Centimeter sich vollzog. Die Injection mit der Wasserstrahlluftpumpe erhöhte noch die Durchlässigkeit der Aststücke, vornehmlich bei Tsuga.

Janse[1]) suchte weiter die Grösse des Widerstandes zu ermitteln, die überwunden werden muss, wenn das Wasser mit derjenigen Schnelligkeit durch den Holzkörper filtriren soll, welche dem Transpirationsstrom zukommt. Er glaubte zu finden, dass der Druck einer Wassersäule hierzu nothwendig sei, die mindestens 2 Mal, unter Umständen aber selbst 21 Mal, die Länge des zu durchströmenden Aststückes betrage. Janse bestimmte den Gewichtsverlust, den abgeschnittene Zweige durch Liegen an der Luft erleiden, und stellte dann fest, welcher Druck nothwendig sei, um dasselbe Gewicht an Wasser durch ein unteres Stück derselben Zweige zu treiben. Dieses untere Zweigstück wurde von dem übrigen Theile gleich zu Beginn des Versuches getrennt und für den Filtrationsversuch eventuell unter Wasser aufbewahrt. Da die Zweige an der Luft abgeschnitten wurden, so mag das die Filtration durch die unteren Stücke etwas beeinträchtigt und die gewonnenen Werthe entsprechend herabgedrückt haben. Da es sich bei diesen Versuchen aber um Coniferen handelte, die Zweigstücke bald benutzt und deren Schnittflächen erneuert wurden, so konnte die eingedrungene Luftmenge und somit der durch dieselbe veranlasste Fehler nicht gross gewesen sein. Andererseits muss an den frei aufgehängten Zweigen bei fehlender Wasserzufuhr die Transpiration herabgesetzt worden sein, so dass ein Fehler nach der entgegengesetzten Richtung entstand, der den ersten corrigirte.

Einen Versuch stellte Janse auch in der Weise an, dass er einen abgeschnittenen Zweig in Wasser transpiriren liess, die Wasseraufnahme bestimmte, und dann auch den nothwendigen Druck, um durch einen unteren Abschnitt desselben Zweiges in derselben Zeiteinheit dieselbe Wassermenge zu pressen. Auch jetzt zeigte sich eine Wassersäule hierzu erforderlich, die $2^1/_2$ Mal die Länge des Zweigstückes überstieg.

Die Versuche, die ich selbst in ähnlicher Richtung ausgeführt habe, sind nicht zahlreich genug, um ein von individuellen

1) l. c. p. 38.

Schwankungen unabhängiges Resultat zu ergeben, daher ich von deren eingehender Veröffentlichung hier absehe. Bemerken will ich nur, dass ich ähnlich wie Janse verfuhr, einen Zweig abgewogene Wassermengen durch den unteren Querschnitt aufnehmen liess und zugleich prüfte, welcher Druck nothwendig sei, um in gleicher Zeit dieselbe Wassermenge durch einen, diesem Zweige entnommenen Abschnitt zu pressen. Letzterer wurde in derselben Weise wie zuvor als Glied in ein U-Rohr eingeschaltet. Bei Coniferen, Taxus und Tsuga, mit denen ich experimentirte, betrug der nothwendige Wasserdruck, um das beabsichtigte Ergebniss zu erzielen, das Mehrfache der Länge des Versuchsobjectes; bei den mit Gefässen versehenen Pflanzen dagegen weit weniger, so beispielsweise bei der auf Gefässe allein angewiesenen Acacia floribunda, unter Umständen nur 12 cm Wasserdruck bei 10 cm Länge des Aststückes.

Immerhin lässt sich für Coniferen, die ja gerade ganz besondere Höhen erreichen, behaupten, dass die Widerstände, die eine so rasche Filtration, wie sie der Transpirationsstrom verlangt, zu überwinden hat, ganz beträchtlich sind.

Ohne die durch Luftblasen und Schliesshäute hinzukommenden Hindernisse würde ja das Wasser auch schon nach dem Gesetze, dass die Strömungsgeschwindigkeit der Druckhöhe und dem Quadrat des Durchmessers direct, der Röhrenlänge umgekehrt proportional ist, nicht unbedeutende Kräfte verlangen, um in den engen Wasserbahnen der Pflanze mit der nothwendigen Schnelligkeit befördert zu werden. Ein Druck von 760 mm Quecksilber ist beispielsweise nach Naegeli und Schwendener nothwendig, damit das Wasser durch eine Glascapillare von 0,1 mm Durchmesser und 3,6363 m Länge, mit einer Geschwindigkeit von 27,36 m in der Stunde hindurchfliesse [1]). Bei vertical gedachter Glasröhre müsste der Druck um 3,6363 m Wasser, beziehungsweise ca. 267 mm Quecksilber erhöht werden, um die gleiche Geschwindigkeit zu erzielen. „Man ersieht hieraus", bemerken Naegeli und Schwendener, „wie bedeutend die Kraft sein müsste, welche im Stande wäre, in Gefässen von 36 m Länge und darüber, wie sie bei hohen Bäumen und Schlingpflanzen wirklich vorkommen, eine Strömungsgeschwindigkeit von nur 0,1 mm per Secunde hervorzurufen.

1) Das Mikroskop, II. Aufl., p. 385.

Der Luftdruck würde somit die einem entsprechend raschen Wasseraufstieg in den Leitungsbahnen der Pflanzen entgegentretenden Widerstände nur in sehr geringem Maasse zu überwinden vermögen.

Es muss vielmehr angenommen werden, dass es ein Vorgang eigener Art ist, welcher den Wasseraufstieg innerhalb der Wasserbahnen der Pflanze bedingt, und dass es sich hierbei um Fortpflanzung von Gleichgewichtsstörung innerhalb der suspendirten Flüssigkeit handelt, die sich durch Strömungen ausgleichen.

Auch aus dem anatomischen Bau der Holzgewächse lässt sich folgern, dass die Schliesshäute dem Wasseraufstieg einen bestimmten Widerstand entgegensetzen, mit dem die Pflanze wohl zu rechnen hat. Wo die Leitungsbahn nur aus Tracheïden besteht, beansprucht ihr thätiger Theil mehr Raum, als wo Gefässe zur Verfügung stehen. So ist es bei den Coniferen und bei Drimys. In dem Maasse, als Gefässe in die Leitungsthätigkeit eingreifen, engen sich die Bahnen ein und ein so stark transpirirender Baum wie die Robinie kann mit einer sehr dünnen Splintschicht auskommen. Durch einen Weidenzweigabschnitt filtrirt in der Zeiteinheit eben so viel Wasser als durch ein Zweigstück einer Conifere, ungeachtet letzterem unzählige, den ganzen Querschnitt einnehmende Tracheïden, dem Weidenzweig aber nur eine beschränkte, über den Querschnitt zerstreute Anzahl von Gefässen zur Verfügung steht. Die Ausbildung von Gefässen innerhalb der Leitungsbahnen bedeutet somit einen Fortschritt in der Function der Wasserleitung für die Pflanze, und ihre höchste Vollendung erreicht sie dort, wo diese Aufgabe allein von Gefässen vollzogen wird. Den raschesten Wasseraufstieg bei Bäumen verzeichneten wir gerade auch dort, wo nur Gefässe für die Leitung zur Verfügung stehen, bei Robinia, Albizzia, Acacia. Eine andere Art von Arbeitstheilung war es, die sich dort ausbildete, wo ein Theil der Gefässe die Aufgaben von Wasserbehältern übernahm. Im Allgemeinen aber stellte sich eine weitergehende Arbeitstheilung im Holzkörper erst mit dem Auftreten der Gefässe ein, mit dem Augenblicke somit, wo die Pflanze nicht mehr ihr gesammtes, bei secundärem Zuwachs verfügbares Material den Aufgaben der Wasserleitung zuzuwenden brauchte. Mit den Gefässen traten zugleich die specifischen mechanischen Elemente im secundären Zuwachs auf.

Diese specifischen mechanischen Elemente kamen aber, wie wir das früher entwickelt haben, entweder dadurch zu Stande, dass ein Theil der nunmehr überflüssig gewordenen Tracheïden in mehr oder weniger rein mechanische Functionen eintrat, oder ein Theil der lebendigen Elemente in entsprechender Weise umgebildet wurde. Mit wie wenig Bahnen die auf Gefässe allein angewiesenen Pflanzen auskommen, zeigen uns, ausser der schon angeführten Robinia, die Albizzien, Acacien und Ficus-Arten. Bei letzteren, die hartlaubig sind, erscheint dies weniger auffällig, als bei den oft zartlaubigen Leguminosen. Die oben schon berührte Fähigkeit, das Wasser besonders rasch aufwärts zu leiten, macht eine grosse Zahl von Leitungsbahnen entbehrlich. Die Nadelhölzer haben aber trotz ihrer sehr ausgedehnten Leitungsbahnen meist lederartige Blätter mit moderirten Transpirationsansprüchen und sind eingerichtet, unter Umständen auch eine Wassernoth zu überdauern. Bestimmte Vortheile kommen aber sicher den nur aus Tracheïden aufgebauten Wasserbahnen zu, die es wohl auch bedingt haben, dass sich dieser Typus bis auf die Jetztzeit unverändert in einer so massenhaft auftretenden Pflanzenform erhielt; sie vertragen jeglichen partiellen Eingriff, ohne tiefergehenden Schaden zu erleiden. Bei jeder Wunde ist auch sofort der Verschluss da, und die Leitungsfähigkeit der verwundeten Wasserbahn wird kaum über den Bereich der Wunde selbst gestört.

Wasseraufnahme bei negativem Druck.

Alle die seit Hales Zeiten angestellten Versuche, bei welchen Pflanzen unter negativem Druck Wasser aufzunehmen hatten, hier zu wiederholen, hätte wohl keinen Zweck. Ich verweise für dieselben auf Pfeffer's Pflanzenphysiologie [1]), und so auch auf die Besprechung älterer Versuche und die Mittheilung eigener bei v. Höhnel [2]). Von entscheidender Wichtigkeit für die Beantwortung der Frage, ob bei dem Aufstieg des Wassers innerhalb der thätigen Wasserbahnen der Luftdruck

---

1) p. 119 ff.

2) Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 77 ff.

betheiligt sei, waren diese Versuche nicht, da sie einerseits, wie die Hartig'schen Bohrversuche [1]), sich nicht über die gesammten Leitungsbahnen erstreckten, andererseits, wie die Versuche mit abgeschnittenen Zweigen, nicht so bedeutende negative Werthe ergaben, dass der bleibende Rest von atmosphärischem Druck nicht ausgereicht hätte, um das Wasser zu der geringen Höhe, wie sie der Versuchszweig bot, zu heben. Entscheidender lauten in dieser Beziehung erst die letzten, von Böhm publicirten Angaben [2]). Böhm experimentirte vornehmlich mit Pflanzentheilen, deren unterer Abschnitt zuvor luftfrei gekocht wurde, und will er mit denselben das Quecksilber „bis zur Höhe des jeweiligen Barometerstandes“ gehoben haben. Solche Ergebnisse giebt er an mit Weidenstecklingen, mit belaubten Zweigen von Acer, Aesculus, Betula, Syringa, Tilia u. s. w. erzielt zu haben. Ein luftdichter Verschluss der Schnittfläche der am untern Ende gekochten und entrindeten Aeste hatte nur ein langsameres Steigen des Quecksilbers zur Folge. Fast bis zur Barometerhöhe wurde das Quecksilber, auch nach dem Blattfalle, selbst von frischen, in Luft abgeschnittenen Ahornzweigen gehoben, wenn Böhm das Periderm derselben entfernte, um die Verdunstung zu beschleunigen und die Schnittflächen sorgfältig verschlossen hatte. Noch viel geeigneter als die Aeste von Laubhölzern erwiesen sich Böhm zu derartigen Versuchen die Aeste der Nadelhölzer. Tannenzweige hoben das Quecksilber fast bis zur Barometerhöhe, auch wenn sie in Luft abgeschnitten und an ihrem unteren Ende nicht gekocht waren; auch konnte ihre Schnittfläche verschlossen sein, oder nicht, nur durfte ihr unteres Ende nicht die Rinde behalten [3]).

---

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg., 1863, p. 280. Die Correctur zu den Angaben bei v. Höhnel, Ueber den negativen Druck der Gefässluft. Inaug.-Diss. 1876, p. 6.

2) Ursache des Saftsteigens, Ber. d. Deut. Bot. Gesell. 1889, Bericht über die General-Versammlung, p. (53) und Bot. Centralbl. Bd. XLII, 1890, p. 234.

3) „Dieses ist wohl“, schreibt Böhm, „der schlagendste Beweis dafür, dass die Coniferen „Gefässe“ besitzen, in welchen das Saftsteigen erfolgt“, Ber. d. Deut. bot. Gesell. 1889, p. (55); und in dem Aufsatz des botanischen Centralblattes, p. 270, heisst es sogar: „Dieser Thatsache gegenüber ist die fernere Behauptung, dass den Coniferen saftleitende Gefässe, das ist Tracheïden-

Durch diese Versuche, meint Böhm, sei gleichzeitig bewiesen, dass bei transpirirenden Pflanzen die Wasseraufnahme sowohl als das Saftsteigen nicht durch Endosmose und nicht durch Luftdrucksdifferenzen, sondern durch Capillarität bewirkt wird.

Nehmen wir an, die Böhm'schen Angaben seien in allen Punkten richtig, so wäre in der That durch dieselben erwiesen, dass transpirirende, in ihren unteren Theilen gekochte Zweige ohne Mitwirkung von Endosmosen und von Luftdruckdifferenzen das nöthige Transpirationswasser zu heben vermögen. Dass diese Hebung durch Capillarität bedingt sei, wie Böhm schliesst, weil ihm das die einzige Möglichkeit zu sein scheint, die noch übrig bleibt, hätte aber erst erwiesen werden müssen. Das war um so nothwendiger, als ja das Steigen des Wassers durch Capillarität auf dem Zuge concaver Menisken beruht, es sich aber fragen musste, wo denn diese Menisken in der Pflanze vorhanden seien. Angenommen aber selbst, in den Böhm-schen Versuchsobjecten wäre das Wasser, nach Ausschluss anderer hebender Kräfte, mit Hilfe von Menisken gestiegen, so musste es sich fragen, ob denn der Zug der letzteren ausreichen könnte, um das Wasser auch in hohe Bäume zu heben. Bekanntlich ist von Altersher diese Möglichkeit bestritten worden, und bietet die Physik auch jetzt keine Anknüpfungspunkte für solche Annahmen. Im Coniferenholze, dessen Tracheïden in jungen Zweigen bis auf 0,01 mm Querschnitt zurückgehen können, wäre durch Capillarität eine Steighöhe von 3 m zu erzielen gewesen, bei der Weide, die Böhm vornehmlich benutzte, und die ihr Wasser in relativ weiten Gefässen hebt, noch weit geringere Höhen. Schon bei den Weidenzweigen, deren Böhm sich bei seinen Versuchen bediente, hätten die bekannten capillaren Kräfte kaum ausgereicht, um das Wasser zu der erforderlichen Höhe zu heben, geschweige denn bei einem hohen Weidenbaume. Auf Grund unserer bisherigen Erfahrungen können wir denn auch mit Bestimmtheit behaupten, dass es nicht der Zug hohler Menisken war, der das Wasser in den Böhm'schen Versuchs-

---

stränge, deren Glieder in offener Verbindung stehen, fehlen, einfach absurd.“ Wie es nun aber thatsächlich um die gefässartigen Verbindungen der Tracheïden bestellt ist, haben wir früher gesehen.

zweigen aufwärts beförderte. Wenn aber auch diese Schlussfolgerung in den Böhm'schen Angaben unbegründet erscheint, ein Interesse mussten dieselben dadurch gewinnen, dass sie den Luftdruck aus dem Problem des Saftsteigens in der Pflanze zu eliminiren suchten.

Als Böhm's Arbeit in den Berichten der Deutschen botanischen Gesellschaft erschien, hatte ich bereits zahlreiche ähnliche Versuche, wie er sie beschreibt, angestellt. Nur operirte ich mit möglichst langen Aesten, um zu erreichen, dass der, nach extremer Hebung des Quecksilbers, zu Gunsten des atmosphären Drucks noch verbliebene Ueberdruck nicht mehr ausreiche, um eine Wassersäule von der Höhe des benutzten Astes zu heben. — Nach Erscheinen der Böhm'schen Mittheilung dehnte ich meine diesbezüglichen Versuche noch weiter aus und modificirte sie entsprechend. — So bedeutende Steighöhen, wie sie von Böhm angegeben werden, zu bekommen, gelang mir trotzdem nicht; wohl aber hatte ich schon in meinem ersten Versuche zunächst für Coniferen, dann auch für einige Dicotylen, Werthe erhalten, welche zu einer positiven Beantwortung der gestellten Frage ausreichten. Diese maximalen Werthe stellen sich nur unter besonders günstigen Bedingungen, wenn kein störendes Moment den Erfolg des Versuches beeinträchtigt, ein, und muss somit Böhm unter ganz besonders glücklichen Bedingungen operirt haben, wenn es ihm bei bestimmter Versuchsanstellung gelang, das Quecksilber „stets bis zur Höhe des jeweiligen Barometerstandes“ zu heben. Trotz Einhaltung aller Vorsichtsmaassregeln, oft stundenlang fortgesetztem Auskochen der unteren Asttheile, Verschluss des Querschnittes, stellte sich nur zu oft, mit zunehmendem negativen Druck, eine Luftsaugung aus dem Aste ein, welche den weiteren Erfolg des Versuches vereitelte.

Meine Versuche führte ich aber mit Hilfe eines Apparates aus, der in einem Punkte von dem Böhm'schen abwich, dagegen mit einer ebenso einfachen Vorrichtung übereinstimmte, deren sich vor längerer Zeit bereits Rauwenhoff bei seinen Untersuchungen bedient hatte[1]). Bei den Böhm'schen Versuchen

---

1) Phyto-physiologische Bijdragen, Het verband tusschen de verdamping en de opneming van Water door de plant. Verslagen en Mededeelingen der Koninklijke Akademie van Wetenschappen.

kommt nämlich, wie die Abbildung[1]) zeigt, das Gefäss mit Quecksilber in gleiche Höhe mit dem Gefäss zu stehen, welches die Versuchspflanze enthält, und besitzt daher das Manometerrohr, welches in das Quecksilber taucht, zwei annähernd gleich lange Schenkel. Dieses hat nun zur Folge, dass der Quecksilberstand in dem äusseren Schenkel des Rohrs stets um einen bestimmten Werth zu hoch ausfallen muss, um denjenigen Werth nämlich, welcher der Last einer gleich hohen Wassersäule in dem inneren Schenkel des Rohrs entspricht. Bei geringer Steighöhe des Quecksilbers giebt das zu vernachlässigende Grössen; dieselben wachsen aber gerade da an, wo es auf die Höhe einzelner Centimeter anzukommen beginnt. Angenommen, das Quecksilber ist in dem äusseren Rohrschenkel 75 cm hoch gestiegen, so werden hiervon nicht weniger als 5,5 cm von einer entsprechend hohen Wassersäule in dem inneren Rohrschenkel getragen. Die wirkliche Höhe der durch Saugung gehobenen Quecksilbersäule beträgt somit nur 69,5 cm. Bei einem etwaigen Barometerstand von 76 cm stünde der Pflanze somit immer noch eine nicht aufgewogene Wassersäule von über 85 cm zur Verfügung. Ich habe hier zunächst absichtlich die Spannkraft des Wasserdampfes vernachlässigt, die einen Quecksilberstand von 75 cm in solchen Versuchen, überhaupt nur bei sehr hohem Barometerstand und nicht zu hoher Temperatur, hätte zulassen können. Ich selbst habe einen so hohen Quecksilberstand überhaupt nie erhalten[2]).

Ich benutzte zu meinen Versuchen vornehmlich Pulvergläser mit eingeriebenem Hals von 5,5 cm lichtem Durchmesser. Dieselben wurden mit doppelt durchbohrten Gummipfropfen verschlossen, durch welche der Versuchszweig und das Manometerrohr ging. Das Verfahren war nun ein derartiges, dass zunächst der an seinem unteren Ende entrindete Zweig, soweit

---

Afdeeling Natuurkunde, Tweede Reeks, Derde Deel, 1869, p. 93, Figur 4 der Tafel.

1) l. c. p. (50).

2) In einer älteren Abhandlung, Ueber die Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Landw. Versuchs-Stationen, herausgegeben von Nobbe, Bd. XX, 1877, p. 379, giebt Böhm an, dass entrindete, durch Kochen injicirte Zweige der Buschweide das Quecksilber oft über 60 cm hoch heben. Ebenso in dem Aufsatz über die Ursache der Wasserbewegung und der geringen Lufttension in transpirirenden Pflanzen, Bot. Ztg. 1881, Sp. 803.

als die Entrindung reichte, durch eine nur wenig excentrisch gelegene Oeffnung des Pfropfes hindurchgesteckt und dieser hierauf, mit grossem Aufwand von Kraft, in das mit ausgekochtem Wasser vollständig erfüllte Gefäss eingesetzt wurde. Das Einsetzen des Manometerrohrs in die für dasselbe bestimmte Oeffnung folgte hierauf. Der Verschluss des Apparats erwies sich bei diesem Verfahren als ein durchaus luftdichter. Es wurde darauf geachtet, dass das Versuchsobject mit dem Querschnitt fast bis auf den Grund des Gefässes reiche. Sollte dieser Querschnitt einen Verschluss erhalten, so wurde dieser erst nach dem Durchstecken des Zweigendes durch den Pfropfen angebracht. Er bestand in einem Gummischlauche, der einige Centimeter weit über das Ende des Zweiges gezogen, dort mit Drahtschlingen befestigt, mit Wasser angefüllt und hierauf dicht am Querschnitt mit einer Klemme abgesperrt wurde. Falls der Querschnitt frei bleiben sollte, wurde er stets an den Zweigen erneuert, nachdem dieselben durch den Pfropf gesteckt waren. Diese Manipulation fand unter Wasser statt, wie denn auch die Zweige, soweit möglich, im Freien unter Wasser geschnitten wurden, längere Zeit in Wasser zunächst verweilten und mit hinreichend nassem Querschnitt alle sonstigen vorbereitenden Manipulationen durchmachten. Bei Zweigen, die in ihrem unteren Ende gekocht werden sollten, geschah dies 1 bis 2 Stunden lang, und durchschnittlich auf 30 cm hoch hinauf. Alles zu den Versuchen dienende Wasser musste luftfrei ausgekocht sein. Beim Einsetzen des Pfropfens in das ca. 1 Liter Wasser haltende Gefäss trat der Ueberschuss des letzteren, sowie etwaige Luftblasen, zu der für Aufnahme des Manometerrohrs bestimmten Oeffnung hervor. Hierauf wurde das Manometerrohr mit Wasser völlig erfüllt, eingesetzt und mit dem unteren Ende in einen Napf mit Quecksilber getaucht. Das Manometerrohr hatte ſ-förmige Gestalt und eine solche Länge, dass bei 65 cm Quecksilberstand in dem längeren Schenkel die Quecksilberkuppe sich annähernd in der Höhe des Bodens des Pulverglases befand. Unter diesen Umständen war der Fehler der Boehm'schen Versuche, die zu hohen Quecksilberstand ergeben mussten, eliminirt.

Bei einer Anzahl von Versuchen wurden, bei sonst sich gleich bleibender Anordnung, statt der Pulvergläser U-förmig

gebogene Röhren benutzt. Diese U-förmigen Röhren von ca. 30 cm Höhe, 3,5 cm lichtem Durchmesser, starkem Glase hatten den Vorzug, dass jeder der beiden Pfropfe nur je eine Oeffnung zu führen hatte. Das erleichterte das luftdichte Einsetzen, das hier fast jedesmal gelang, während ein oder der andere Versuch unter Umständen mit den Pulvergläsern versagte.

Der höchste Quecksilberstand, der unter Ausschluss von Fehlern, bei 760 mm Barometerstand und 20° C, in diesen Versuchen, bei welchen die Spannkraft des Wasserdampfes mit zur Geltung kommt, zu erreichen wäre, beträgt (760 — 17,4 mm) 742,6 mm.

Mit krautartigen Pflanzen, sowie mit monocotylen Holzgewächsen war diese Höhe auch nicht annähernd zu erhalten. Aber auch mit dicotylen Holzgewächsen und Coniferen kam ich nur in deren Nähe. Bei krautartigen Pflanzen hatte Entrindung im unteren Theile nur nachtheilige Folgen, und mit Kochen und Verschluss des unteren Querschnittes war auch nichts zu erreichen. Der höchste Werth, den ich für krautartige Pflanzen erhielt, betrug 26 cm, und zwar wurde derselbe bei Amaranthus caudatus erreicht [1]). Meist stellte sich schon weit früher eine so starke Luftsaugung aus dem Querschnitt ein, dass sie ein weiteres Steigen des Quecksilbers ausschloss. Es pflegten ausserdem die krautartigen Pflanzen schon bei relativ geringem negativen Druck zu welken, während frei in Wasser aufgestellte Vergleichspflanzen sich frisch hielten. — Mit dicotylen Holzgewächsen: Robinia, Wistaria, Acacia floribunda, Weide, Ahorn, Rothbuche, Eiche, Kirschlorbeer, Kirschbaum, Birnbaum, Bittermandelbaum, Cydonia japonica, Viscum, brachte ich es bei Anwendung frischer, unten entrindeter, belaubter und unbelaubter Zweige nicht über 54 cm Quecksilber; bei Anwendung unten gekochter, zum Theil verschlossener Zweige bis 67 cm [2]). Die

---

1) Ueber ähnliche Versuche mit krautartigen Pflanzen vergl. besonders Meyen, Neues System der Pflanzen-Physiologie, Bd. II, 1838, p. 72, die übrige Litteratur bei Pfeffer, Pflanzen-Physiol., Bd. I, p. 120.

2) Die Höhe, bis zu welcher mit dicotylen Aesten das Quecksilber zu heben war, schwankte zwischen 45 und 67 cm. Nach dem japanischen Quittenbaum und dem Kirschbaum erhielt ich die höchsten Werthe bei der Weide, dem Ahorn, der Robinie,

höchsten Werthe ergaben mir Cydonia japonica und der Kirschbaum, was zu dem trachealen, holzfaserfreien Aufbau des Holzkörpers dieser Pflanzen sehr gut passt. Diese höchsten Werthe erzielte ich mit unten verschlossenen Zweigen. Mit 67 cm Quecksilber, bei einem Barometerstand von 754, hatte ich für die japanische Quitte und die Kirsche thatsächlich auch die Grenze annähernd erreicht, bis zu welcher, auf Grund meiner früheren Erfahrungen, die Dicotylen das Quecksilber heben durften. Diese obere Grenze musste ja gezogen sein durch den Widerstand, den die Gefässwandungen einer raschen Diffusion von Luft in die Gefässlumina entgegensetzen. Die Ueberschreitung dieser Grenze hatte nothwendiger Weise zur Folge eine starke Lufteinsaugung in den Apparat und somit auch eine Unterbrechung des Versuches. — Die leicht zu constatirende Thatsache, dass mit steigendem negativen Druck im Apparat die Menge des durch den Pflanzentheil in der Zeiteinheit aufgenommenen Wassers rasch sinkt, wird jedenfalls zunächst dadurch veranlasst, dass sich die innerhalb der Wasserbahnen befindlichen Luftblasen ausdehnen, eventuell auch, bei so starkem negativen Druck, Luftblasen aus dem Wasser dort ausgeschieden werden und den Aufstieg erschweren, stellenweise auch ganz unterbrechen. Wird bei vorhandenem Wasserzutritt der Luftdruck aufgehoben, so werden demgemäss auch diese Erscheinungen rückgängig gemacht und die Versuchsäste wieder befähigt, ebenso gut wie zuvor das Wasser zu heben. Solche Wiederholungen von Versuchen gelingen am besten bei den Coniferen, die in ihren nur aus Tracheïden bestehenden Wasserbahnen thatsächlich auch den resistentesten und best geschützten Leitungsapparat besitzen. Aus ähnlichen Gründen widerstehen auch die Amygdaleen und die Pomaceen gut.

Die eben berührten Vorzüge des Wasserleitungs-Apparates bei den Coniferen brachten es auch mit sich, dass ich mit diesen Pflanzen die bedeutendsten Hebungen des Quecksilbers erzielte. Es gelang mir, mit einem Coniferenzweig das Queck-

---

der Eiche, und weiter absteigend bei Viscum, bei der Rothbuche und der Wistaria. Der Luftaustritt aus dem Querschnitt oder den Seitenflächen des Holzkörpers war es, der einem weiteren Steigen des Quecksilbers meist ein Ende machte. Bei zarter Belaubung, so derjenigen von Robinia, stellte sich ausserdem rasch ein Welken ein.

silber 70 cm hoch, bei einem Barometerstand von 76,2 cm, zu heben. Ich operirte mit Taxus baccata, Picea vulgaris, Abies Nordmanniana und Tsuga canadensis. Die in ihren unteren Theilen ausgekochten und hierauf dort entrindeten Aeste bewährten sich wiederum besser als die geschälten, doch ungekochten. Bei ersteren stellte sich störender Luftaustritt früher ein. Ein Zweig von Tsuga canadensis, der im unteren Theile entrindet, doch nicht gekocht, das Quecksilber bis auf 62 cm gehoben hatte, vermochte, als er 30 cm weit gekocht und hierauf wieder in den Apparat gesetzt wurde, in 24 Stunden einen Quecksilberstand von 68 cm zu erreichen. Den höchsten Werth erhielt ich aber mit einem entrindeten und gekochten Zweige, den ich am Querschnitt luftdicht verschlossen hatte. Dass auf diese Art die Wasseraufnahme erfolgen kann, hat bereits Boehm gezeigt. Ich habe, wie schon erwähnt wurde, auf gleichem Wege auch bei dicotylen Holzgewächsen die besten Erfolge erzielt.

Die Wasseraufnahme durch die entblöste Aussenfläche des Holzkörpers bei verschlossenem Querschnitt erfolgt naturgemäss langsamer, führt aber bei Anwendung grosser, starkbelaubter Zweige am sichersten zum Ziele. Dass die Versuche, namentlich bei dicotylen Hölzern, besser gelingen, wenn die Zweige im unteren Theil zuvor gekocht wurden, hängt einfach damit zusammen, dass sie durch diese Manipulation sehr wasserreich werden, in ihrem Leitungsvermögen weniger von der Ausdehnung der Luftblasen leiden und weniger leicht auch Luft an den Apparat abgeben. — Nach der eben gegebenen Begründung wird es auch nicht mehr auffallen, dass auch Zweige, denen unmittelbar Wasser zur Aufnahme geboten wird, es besser aufnehmen, wenn sie im unteren Ende gekocht worden sind. Das Verhalten selbst fiel bereits Hansen[1]) auf. Es erklärt sich daraus, dass die Luft durch das Kochen entfernt, dadurch Hindernisse beseitigt, die Zahl continuirlicher Wasserfäden vermehrt und somit dem Wasser der Aufstieg erleichtert wird. — Da die Wasseraufnahme bei verschlossenem Querschnitt wesentlich herabgesetzt wird, so hat dieses Verfahren bei Dicotylen meist ein baldiges Welken der Blätter zur Folge, was aber wiederum bei Anwendung hinreichend grosser Aeste und raschem

1) Ein Beitrag zur Kenntniss des Transpirationsstromes, Arb. des bot. Inst. zu Würzburg, Bd. III, p. 307.

Verlauf des Versuchs den Ausfall desselben nicht beeinträchtigt. — Dass eine Wasseraufnahme in radialen Bahnen durch den Holzkörper überhaupt möglich ist, hat aber an sich nichts Ueberraschendes, da Tüpfelverbindungen in radialer Richtung stets gegeben sind. Auch haben wir ja gesehen, dass die normale Versorgung eines entstehenden neuen Jahresringes zunächst auf radiale Tüpfelverbindung angewiesen ist. Bei Nadelhölzern, die nur in den letzten Tracheïdenlagen der Jahresbildung tangentiale Tüpfel besitzen, gelingen demgemäss diese Versuche, welche Wasseraufnahme bei verschlossenem Querschnitt verlangen, am besten nach Abschluss der Vegetationszeit. Unabhängiger von der Jahreszeit zeigen sich diejenigen Abietineen, welche tracheïdale Elemente im Markstrahl führen. Bei der Kiefer, der die tangentialen Tüpfel abgehen, kommt die Jahreszeit endlich gar nicht in Betracht.

Ein Tsuga-Ast, der entrindet und gekocht das Quecksilber 62 cm hoch gehoben hatte, brachte es nach Verschluss des Querschnittes bis auf 69 cm, noch ein anderer, ausgekocht und direct verschlossen, auf 70 cm. An Aesten von Taxus baccata erzielte ich nach erfolgtem Kochen 67,5 cm; bei der Rothtanne, ohne Verschluss, trotz Entrindung und Kochen, nur 56 cm Quecksilber, da starker Lufteintritt durch den Querschnitt ein weiteres Steigen des Quecksilbers dann stets verhinderte. Als die Kappe angelegt wurde, gelang es mir, mit einem Ast, der das Quecksilber zuvor auf 54 cm gehoben hatte, 64 cm zu erlangen. Alsdann stellte sich hier ebenfalls Luftsaugung durch die Markstrahlen ein. Die Luft begann in feinen Bläschen die Oberfläche des Holzkörpers zu decken, stieg dann im Apparat auf und liess bei zunehmender Einströmung ein weiteres Steigen des Quecksilbers alsbald nicht mehr zu.

Während durch den entblössten Holzkörper die Wasseraufnahme so gut von Statten ging, war dieselbe nicht möglich durch lebende und nur in ganz geringer Menge möglich durch gekochte Rinde. Ein Taxuszweig, der, mit Rinde versehen, unten mit Kappe verschlossen in den Apparat eingesetzt wurde, nahm überhaupt kein Wasser auf. Als dieser Zweig im untern Theile sammt Rinde gekocht und weiterhin wieder unten verschlossen wurde, hob er in 10 Stunden das Quecksilber um 1 cm, in 24 Stunden um 2,5 cm. Als er nunmehr entrindet wurde, stieg das Quecksilber in 2 Stunden bereits um 20 cm. Ein

ganz ähnliches Verhalten zeigte ein Zweig von Tsuga canadensis, der durch die lebendige Rinde gar kein Wasser, durch die gekochte nur so viel Wasser aufnahm, dass in 48 Stunden ein Steigen des Quecksilbers um 3 cm veranlasst wurde. Etwas anders hatte sich zuvor ein Weidenast nur insofern benommen, als auch die gekochte Rinde jede Wasseraufnahme versagte.

Wie wir zuvor sahen, gelang es mit Dicotylen-Aesten im Maximum das Quecksilber nur um 67 cm bei einem Barometerstande von 75,4 cm zu heben. Das genügte aber vollständig zur Entscheidung der gestellten Frage. Denn der benutzte Ast war 2,2 m hoch, während demselben nur noch eine Quecksilbersäule von 8,4 cm, somit eine 1,134 m hohe Wassersäule, die theoretisch durch den atmosphärischen Druck hätte getragen werden können, zur Verfügung stand. Coniferenäste hoben das Quecksilber bis 70 cm; die benutzten Aeste waren aber durchschnittlich über 2 m hoch. Bei 70 cm hoher Quecksilbersäule und einem Barometerstand von 76,2 cm bleiben nur 6,2 cm Quecksilber, beziehungsweise 83,7 cm Wasser zur Verfügung [1]). Es folgt somit in der That auch aus meinen Versuchen, dass das Wasser in den Leitungsbahnen der Pflanzen auch ohne Betheiligung des Luftdrucks gehoben werden kann. Weiter folgt aus diesen Versuchen auch, dass das Wasser innerhalb dieser Bahnen ohne zurückzusinken gehalten werden kann, ohne dass der Luftdruck haltend eingreife. Ein solches Zurücksinken müsste ja auch den Aufstieg schlechterdings verhindern. Aufgehängt konnte aber in diesem Falle das Wasser nur durch Luftblasen sein, welche die Untersuchung stets innerhalb der zu solchen Versuchen verwandten Pflanzen nachweisen konnte, und welche bei so starkem negativem Druck fast auf das Doppelte ihrer Länge erweitert werden mussten.

Dass bei so starkem negativem Druck innerhalb der Leitungsbahnen auch die Wasserentnahme aus denselben durch die transpirirenden Zellen nicht auf Luftdruckdifferenzen beruhen konnte, ergiebt sich fast von selbst. Anders schliesst

---

1) Die Temperatur betrug annähernd 21° C. Die Spannkraft des Wasserdampfes kam also auch für diesen Versuch, der den höchsten Quecksilberstand aufwies, noch nicht in Betracht, da diese Spannkraft für die genannte Temperatur nur 18,495 mm beträgt.

hingegen Böhm. Während er einerseits auch zu dem Ergebniss kommt, dass bei dem Wasseraufstieg in den Leitungsbahnen der Luftdruck nicht betheiligt sei, nimmt er andererseits an, dass die Entnahme des Wassers aus den Gefässbündeln durch die Parenchymzellen des Blattes „durch einfache Saugung" erfolge. „Die Wasseraufsaugung durch die Wurzeln und das Saftsteigen", schreibt Böhm am Schluss seines Aufsatzes, „werden durch Capillarität, die Wasserversorgung des Blattparenchyms wird durch den Luftdruck bewirkt" [1]. „Die Parenchyme des Blattes", meint Böhm an einer anderen Stelle [2], „sind Bläschen mit elastischen Wänden, welche sich bei der Verdunstung ebenso verhalten müssen, wie ein Kautschukballon mit eingekittetem und in Wasser oder Quecksilber tauchendem Glasröhrchen, wenn derselbe vorübergehend etwas gequetscht wird. In die Blätter wird das Wasser in den Gefässen geleitet, und aus diesen wird dasselbe durch einfache Saugung geschöpft." Ganz abgesehen von der Schwierigkeit, eine solche Vorstellung mit den Erfahrungen der vorangegangenen Versuche in Einklang zu bringen, wird dieselbe auch durch die schon im Anfang dieses Jahrhunderts von Th. de Saussure festgestellte Thatsache ausgeschlossen, dass Pflanzen, ohne zu welken, lange Zeit in einem luftleeren Raume verweilen können [3]. Die von Th. de Saussure benutzte Luftpumpe gestattete es, im Recipienten, bei Abwesenheit von Wasser, einen luftleeren Raum herzustellen, in welchem sich der Barometer anfangs auf drei Viertel einer Linie hielt und erst nach 20 Stunden auf eine Linie stieg. „Eine Pflanze von Polygonum Persicaria von einem Fuss Länge, deren Wurzeln in eine Unze Wasser tauchten", erhält sich gesund in diesem luftleeren Raum, der täglich erneuert wurde, sechs Wochen lang, wobei sie sich um mehrere Zoll verlängerte. Dieselben Resultate wurden mit Epilobium molle, Epilobium hirsutum, Lythrum Salicaria und Inula dysenterica erzielt. „Alle diese Pflanzen gediehen im luftleeren Raume ebenso gut, wie unter einem Recipienten voll gemeiner Luft. Ihre Ausdünstung war sich in beiden Umständen gleich." Die Pflanzen

1) Ber. d. Deut. Bot. Gesell. 1889, p. (56).
2) Bot. Centralbl., Bd. XLII, p. 270.
3) Recherches chimiques sur la végétation, 1804, cap. VI, deutsche Uebersetzung, 1805, p. 196.

befanden sich im vollen Tageslicht, doch durften sie nicht dem directen Sonnenlicht ausgesetzt werden. „Ganz entwickelte und mit ihren Blättern versehene Erbsenpflanzen, wie auch Puffbohnen und türkische Bohnen, starben jederzeit im luftleeren Raume nach Ende von drei Tagen, sowohl im Sonnenlicht, als im Schatten." Was die ersten Pflanzen befähigte, so lange im annähernd luftleeren Raume auszuhalten, soll hier nicht erörtert werden, klar ist jedoch ohne weiteres, dass deren Blätter alsbald hätten welken müssen, wenn sie für die Entnahme des Wassers aus den Gefässbündelenden auf Luftdruck angewiesen gewesen wären.

Mit den Ergebnissen der zuvor angeführten Versuche, welche zeigen, dass ein Wasseraufstieg in den trachealen Bahnen ohne Betheiligung von Luftdruckdifferenzen möglich sei, scheinen die Angaben von Janse[1]) und von Scheit[2]) im Widerspruch zu stehen. Janse verminderte in seinen Versuchen den Druck auf die Oberfläche des Wassers, in welches transpirirende Zweige gestellt wurden, und fand, dass diese Zweige alsbald welkten. Wurde der Druck zu demjenigen der Atmosphäre wieder gesteigert, während die Schnittfläche der Zweige mit dem Wasser in Berührung blieb, so erholten sich die Zweige alsbald. Wenn die Schnittfläche aber ausser Contact mit dem Wasser gebracht wurde, während der Druck stieg, so welkten die Zweige weiter. Zu diesen Versuchen dienten Hydrangea hortensis, Helianthus tuberosus, Sambucus nigra, Ginkgo biloba. Sambucus nigra wurde einer Saugung von nur 25 bis 29 cm, beziehungsweise 40—43 cm Quecksilber ausgesetzt, doch während einer relativ langen Zeit (3 bis 4 Stunden), worauf Welken eintrat. Bei Hydrangea hortensis kam ein negativer Druck von 69 bis 73 cm, bei den anderen Pflanzen von 70 bis 74 cm zur Anwendung, was ein rasches Welken zur Folge hatte. Dieses Resultat kann uns nicht überraschen. Es beweist nur, dass bei den benutzten Versuchspflanzen der angewandte negative Druck ausreichte, um die in den Leitungsbahnen vertretenen Luftblasen so weit auszudehnen, eventuell auch so viel Luft in die Leitungsbahnen

---

1) Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 3 ff.

2) Die Wasserbewegung im Holze, Jen. Zeitschr. f. Naturw., Bd. XIX, N. F. Bd. VII, 1885, p. 694.

einzusaugen, dass ein ausreichender Wasseraufstieg dadurch ausgeschlossen wurde. Das Aufheben des negativen Druckes hatte eine Herstellung der nothwendigen Continuität der Wasserfäden innerhalb der Leitungsbahnen zur Folge, es musste denn sein, dass bei steigendem Druck die Pflanze ausser Wasser gehoben und die Leitungsbahnen mit Luft injicirt wurden, was ja die Wiederherstellung der Leitungsfähigkeit in den trachealen Bahnen überhaupt oder für längere Zeit aufheben musste. — Die nämliche Ursache bewirkte auch den gleichen Ausfall in den Versuchen von Scheit, die in ebensolcher Weise wie diejenigen von Janse angestellt wurden. Scheit experimentirte mit Impatiens parviflora, Vitis vinifera, Populus-Arten, Salix viminalis und brachte dieselben ebenfalls zum Welken, indem er die Luft über der Oberfläche des Wassers, in welches die Versuchspflanzen tauchten, evacuirte. Er giebt an, dass bei allen Versuchen Luftblasen in feinen Strömen aus dem Qnerschnitt hervortraten, wie er meint, aus den Intercellularen.

Mir selbst erschien es auch wünschenswerth, ähnliche wie die eben geschilderten Versuche anzustellen, welche den Vortheil gewähren, das Wasser sofort unter Ausschluss des atmosphärischen Druckes zur Aufnahme zu bieten. Die Versuche mit Robinien und Ahorn-Arten fielen da zunächst negativ aus. Die Anordnung dieser Versuche war eine solche, dass der Ast im unteren Theile entrindet, vermittelst eines Gummipfropfes luftdicht in ein mit Wasser erfülltes Pulverglas eingesetzt wurde. Aus diesem Pulverglas führte ein zweites, rechtwinklig umgebogenes Rohr nach aussen und war dort verbunden mit dem horizontalen Schenkel eines T-förmigen Rohres, dessen verticaler, 85 cm langer, abwärts gerichteter Schenkel unten in Quecksilber tauchte. Das andere Ende des horizontalen oberen Schenkels stand in Verbindung mit einer Wasserstrahlluftpumpe. Es wurde sofort die volle Saugung angesetzt, welche das Quecksilber zu einer Höhe von 73 bis 74 cm hob. Dauernd strömten grosse Mengen Luft aus dem Querschnitt der Versuchszweige hervor und wurden durch Vermittlung des kurzen Rohres, das nur bis zur Innenseite des Pfropfes reichte, aus dem Apparate gesogen. Robinienzweige welkten bei solcher Behandlung ebenso rasch wie nebenan frei, ohne Wasser aufgestellte Vergleichszweige; während andere, in Wasser befindliche Vergleichszweige gleichzeitig frisch blieben. Dasselbe Welken stellte sich, wenn auch weniger

rasch, bei einem starken Ahornzweige ein, und zwar wiederum gleichzeitig mit dem Welken eines nebenan ohne Wasser aufgestellten Vergleichszweiges.

Der Ausfall dieser Versuche ist nicht anders zu erklären, als dies eben für die Versuche von Janse und von Scheit geschah.

Was aber diesen Versuchen einiges Interesse verlieh, war der Umstand des Welkens trotz des dem Querschnitte gebotenen Wassers. Würde das Wasser durch den Querschnitt der Zellwände aufgenommen und innerhalb dieser Zellwände aufwärts geführt, so dürfte ein Welken unter solchen Umständen nicht erfolgen. Ein negativer Druck von 74 cm Quecksilber könnte dann keinesfalls in Betracht kommen solchen Kräften gegenüber, wie sie für Imbibitionserscheinungen maassgebend sind. Das Welken konnte augenscheinlich auch hier nur Folge von Störungen in den Hohlräumen der Leitungsbahnen sein.

Die Erfahrung, dass bestimmte Coniferen sehr hohen negativen Druck aushalten, ohne Luft in die thätigen Leitungsbahnen einzulassen, führte dahin, diese Versuche mit diesen Pflanzen zu wiederholen. Ich hielt mich an Taxus und Tsuga. Da ein sichtbares Welken des Laubes hier nicht erfolgt, und somit als Indicator nicht dienen konnte, füllte ich Eosin-Wasser in die Apparate ein, um mit diesem den Aufstieg direct zu markiren. Aeste von über zwei Meter Länge, der längste von 2,65 m, wurden angewandt. Auch kochte ich dieselben im unteren Theile 30 cm hoch, aus, um ihnen die Wasseraufnahme auch bei Ausdehnung der Luftblasen zu erleichtern. Mit dem Augenblicke, wo der Ast in den Apparat eingeführt wurde, setzte ich auch mit voller Saugung ein. Dieselbe pflegte das Quecksilber in dem T-Rohr, je nach dem jeweiligen Barometerstand, auf 72,5 bis 73,5 cm zu heben. Ein mehr oder weniger starker Luftaustritt aus den inneren Teilen des Querschnitts stellte sich, trotz des langen Auskochens des unteren Astendes, stets dabei ein. Um eine Injection des Zweiges bei Abschluss des Versuches zu verhindern, wurde der Zweig, während die Saugung fortdauerte, dicht über dem Apparat abgesägt. Da es sich alsbald zeigte, dass die Zweige grössere Mengen Flüssigkeit während des Versuchs aufnahmen, wurden Pulvergläser von 1 Liter Inhalt angewandt. Der Zweig reichte mit seinem Querschnitt fast bis auf den Grund des Gefässes. Diese Ver-

suche gelangen in vollkommenster Weise. Um nur das Resultat für den längsten Taxus-Zweig mitzutheilen, so hatte dieser Zweig, dessen Belaubung in 1,6 m Höhe begann, in 31 Stunden sich bis in die Gefässbündel der obersten Blätter hinein gefärbt und dabei 420 ccm Eosin-Wasser aufgenommen. Ebenso bis in den Gipfel durchfärbt zeigten sich fast alle anderen angewandten Taxus- und Tsuga-Zweige. Wie Querschnitte lehrten, betheiligten sich in stärkeren Zweigen vornehmlich die äusseren oder nur die äusseren Jahresringe an der Wasserhebung. Diese Jahresringe allein waren es auch, die sich auf Längsschnitten als luftarm erwiesen, so dass die Ausdehnung der Luftblasen von denselben auch am besten vertragen werden musste.

Dass bei den genannten Versuchen der Luftdruck bei dem Aufstieg des Eosin-Wassers nicht betheiligt sein konnte, braucht wohl nicht erst entwickelt zu werden.

Ich schliesse somit aus meinen Versuchen, dass der Luftdruck an der Hebung des Wassers in den Leitungsbahnen der Pflanze nicht betheiligt ist. Wir haben auch gesehen, dass die Entnahme des Wassers aus den Leitungsbahnen nicht durch denselben bedingt sein kann. Endlich zeigte es sich, dass auch ohne Betheiligung des Luftdrucks die Wassersäulen innerhalb der Leitungsbahnen getragen werden können.

Dass der Luftdruck andererseits bei der Füllung zeitweise entleerter Bahnabschnitte mitwirken muss, haben wir früher schon gesehen. Ebenso wird er vielfach helfen die Wasserfäden zu tragen. Letzteres bei starker Füllung der Bahnen.

Das sind aber localisirte Functionen, welche somit auch nicht eine bestimmte Vertheilung der Luftdruckverhältnisse innerhalb eines Baumes verlangen. Im allgemeinen wird man wohl finden, dass in dem oberen Theil eines Baumes die negative Luftspannung eine grössere ist, und R. Hartig hat das für seine Gasdrucktheorie des Saftsteigens zu verwerthen gesucht [1]), doch das hängt nur damit zusammen, dass den in der Nähe der transpirirenden Flächen befindlichen Wasserbahnen das Wasser zunächst entzogen wird, sie auch bei unzureichender Wasserzufuhr zuerst an Wassermangel leiden müssen.

---

1) Ueber die Vertheilung der organischen Substanz etc. Unters. a. d. forstbot. Inst. zu München, Heft II, p. 29.

Der Wassermangel in den Leitungsbahnen führt aber unausbleiblich zur Ausbildung von negativer Luftspannung. Thatsächlich lehrt aber die Erfahrung, dass starke negative Luftspannungen sehr ungleichmässig über die ganze Pflanze vertheilt und stets nur auf einzelne Bahnen beschränkt sind. Es sind das, wie schon früher gezeigt wurde, die zeitweise entleerten und abgeschlossenen Bahnen. Daher auch Manometer am Baume oft in geringer Entfernung von einander sehr verschiedene Druckverhältnisse anzeigen.

Die capillaren Eigenschaften der Wasserbahnen in der Pflanze.

Ein Aufsteigen von Wasser bis zu namhafter Höhe innerhalb der Pflanze ist, wie wir gesehen haben, nur möglich, wenn die Wasserbahnen derselben nicht nur imbibirte Wände besitzen, sondern auch in ihren Hohlräumen bis zu einem bestimmten Maasse mit Wasser angefüllt sind. Auch müssen diese Wasserbahnen von dem Zutritt der Luft entsprechend abgeschlossen sein.

Dass durch Capillarität und Luftdruck das Wasser nicht zu der erforderlichen Höhe innerhalb der Pflanze zu heben ist, haben wir bereits gesehen. Wir wurden demgemäss veranlasst, die Lösung des Problems in noch unbekannten Vorgängen zu suchen, welche es gestatten, dass sich innerhalb der in der Wasserbahn der Pflanze suspendirten Wasserfäden trotz der vorhandenen Widerstände Gleichgewichtsstörungen mit grosser Schnelligkeit auf Entfernungen fortpflanzen.

Da die physikalischen Anknüpfungspunkte für die Lösung des Problems des Saftsteigens in der Pflanze allem Anschein nach fehlen, so bestand meine Aufgabe vornehmlich darin, die Bedingungen festzustellen, unter welchen sich der Vorgang abspielt.

Zwar sind in der Physik capillare Wirkungen bekannt, welche über diejenigen Kraftmaasse verfügen, welche das Wasser bis in die höchsten Baumgipfel heben könnten, doch wird die Anwendung derselben auf die Pflanze durch die beobachteten Thatsachen ausgeschlossen.

Der Versuch, das Problem des Wassersteigens in der Pflanze mit Hilfe derjenigen capillaren Kräfte zu lösen, die mehreren, ja selbst vielen Atmosphären Druck das Gleichgewicht halten, wurde schon von Hales [1]) gemacht. Er zog nämlich zu dieser Erklärung die Kräfte heran, mit welchen fein poröse Körper und quellende organische Gebilde das Wasser an sich ziehen. Die Versuche führte Hales einerseits mit quellenden Erbsen, andererseits mit Glasröhren, welche festgestampfte Holzasche oder Mennige enthielten und unten mit Leinwand verbunden waren, aus. Die quellenden Erbsen hoben ein Gewicht von 148 Pfund in die Höhe; die porösen Körper in den Glasröhren sogar, indem sie Wasser aus einem verschlossenen Gefässe aufnahmen, das Quecksilber 7 bis 8 Zoll empor. Hales sucht dann diese Vorgänge in Beziehung zu der Kraft zu bringen, „mit welcher die Bäume Feuchtigkeit an sich ziehen". „Die grosse Wirksamkeit der Anziehung", schreibt er, „dieses allgemeinen Princips, das in all den verschiedenen Werken der Natur sich zeigt, ist im allerhöchsten Grade bei den Pflanzen vorhanden, deren kleinste Theile in merkwürdiger Weise so geordnet sind, dass sie am besten durch ihre vereinten Kräfte geeignete Nahrung an sich ziehen können [2]). „Folge desselben allgemeinen Principes der Anziehung ist", heisst es dann weiter am Schlusse [3]), „dass wir die Pflanzen so kräftig Feuchtigkeit (moisture) in ihren feinen capillaren Gefässen herauf einsaugen (imbibe) sehen; und da diese Feuchtigkeit durch die Transpiration (einer Einwirkung der Wärme) entfernt wird, so wird es den Saftgefässen möglich, fortwährend frische Vorräthe an sich zu ziehen, was sie nicht thun könnten, wenn sie mit Feuchtigkeit ganz gesättigt wären: denn der Saft würde ohne Transpiration nothwendig stagniren, obwohl die Saftgefässe durch ihre extreme Feinheit so merkwürdig geeignet sind, den Saft bis zu bedeutenden Höhen zu erheben, im umgekehrten Verhältniss zu ihrem sehr winzigen Durchmesser". Ich habe diese merkwürdigen Stellen, die von der grossen Gedankenschärfe von Hales zeugen, in wörtlicher Uebersetzung nach der zweiten Auflage

1) Statical essays, containing vegetable staticks, Vol. I. The second Edition, with Amendments, London 1731, p. 102. Deutsche Uebersetzung 1748, p. 58.

2) l. c. p. 103.

3) l. c. p. 107.

des Originals hier wiedergegeben, was um so nothwendiger erschien, als namentlich der letzte Theil in der deutschen Uebersetzung von 1748 nicht correct wiedergegeben ist, und als die betreffenden Stellen auch in den Hofmeister'schen Citaten eine nicht unwesentliche Veränderung erfahren haben [1]). Um möglichst getreu zu sein, zog ich es vor, von einer Stilisirung der betreffenden Stellen abzusehen und mich in den entscheidenden Stellen Wort für Wort an das Original zu halten. Hales' Nachfolger kamen auf andere Erklärungsversuche des Saftsteigens in der Pflanze, wobei osmotische Vorgänge eine grosse Rolle spielten, und erst Jamin [2]) nahm wieder das Problem auf demjenigen Wege auf, den Hales schon betreten hatte. Er construirte einen Apparat, den er mit einer Pflanze verglich, und der im Wesentlichen darin bestand, dass ein poröses Leitungsrohr zwei poröse transpirirende Flächen vereinigte. Ein mit gestampftem Gyps gefülltes Glasrohr verband zwei mit derselben Substanz gefüllte Alcarrazas. Jamin meint, sein Apparat sei einer Pflanze darin ähnlich, dass auch er eine grössere, poröse, dem Wurzelsystem entsprechende und eine ebensolche mit der Baumkrone zu vergleichende Oberfläche aufweise. Die erstere sollte wie das Wurzelsystem die Feuchtigkeit aus dem Boden aufnehmen, die andere dieselbe durch Verdunstung an die Atmosphäre abgeben. Würde ein solcher Apparat mit dem einen Ende in ein abgeschlossenes, mit feuchtem Sand erfülltes Gefäss gesetzt, so müsste, meint Jamin, dem Sand Wasser entzogen werden, dieses in dem Rohr unter einem durch angebrachte Manometer messbaren, mehrere Atmosphären erreichenden Drucke aufsteigen, an der Oberfläche des porösen Gefässes verdunsten und durch neues Wasser so lange ersetzt werden, bis dass der Sand fast ausgetrocknet sei. Dann würde der Apparat zu functioniren aufhören, sich aber sofort wieder in Thätigkeit versetzen, wenn man den Sand begösse. Jamin geht dabei von der Vorstellung aus, dass die Gefässe des Holzes nur Gase leiten, dass das Wasser in den gedrängten Fasern „fibres serrées" des Holzkörpers aufsteige und es diese daher

1) Ueber Spannung, Ausflussmenge und Ausflussgeschwindigkeit von Säften lebender Pflanzen, Flora, 1862, p. 100.

2) Mémoire sur l'équilibre et le mouvement du liquide dans les corps poreux, Comptes rendus, 1860, Bd. L, p. 385.

in den Leitungsbahnen des Apparates nachzuahmen gelte[1]). Jamin entwickelte dann weiter die Theorie seines Apparates. Ob er denselben wirklich construirt und mit demselben experimentirt hat, ist aus seiner Mittheilung nicht zu ersehen. Namentlich fehlt bei Jamin jede Angabe über die Schnelligkeit, mit welcher das Wasser in einem solchen Apparate aufsteigt und somit auch über die Menge von Wasser, die er in einer gegebenen Zeiteinheit aufwärts befördern könnte. — Um über diese Grösse eine Vorstellung zu gewinnen, habe ich mir einen dem Jamin'schen ganz entsprechenden Apparat construirt, wobei ich zunächst ebenfalls die beiden Alcarrazas, wie das Glasrohr, mit gestampftem Gyps füllte. Das Rohr war 2 m lang bei einem lichten Durchmesser von 2 cm. Die beiden Alcarrazas mochten je einen halben Liter Inhalt fassen. Die untere Alcarraza wurde bis an den Hals in Wasser gestellt. Die erste Bedingung, die zu erfüllen ist, damit ein solcher Apparat längere Zeit functionire, besteht freilich darin, dass der gebotenen Flüssigkeit ein antiseptisches Mittel zugesetzt werde. Sonst wird die ganze Oberfläche der Gefässe alsbald mit Schleim überzogen und die weitere Wasseraufnahme dadurch erschwert, wenn nicht ganz verhindert. Die Nothwendigkeit einer solchen Vorsichtsmaassregel ging schon aus den Versuchen von Höhnel's hervor[2]). Ich benutzte Carbolsäure als Antisepticum. Das Wasser stieg, und zwar mit täglich abnehmender Schnelligkeit, um 1,4 m in 44 Tagen. Der Aufstieg der ersten Tage hatte ca. je 7 cm, der letzten Tage kaum 2 cm betragen. Das Aufsteigen des Wassers liess sich leicht an der Farbenänderung des Gypses verfolgen und wurde täglich markirt. Als die Höhe von 1,4 m erreicht war, drehte ich den Apparat um und setzte ihn, 24 Stunden lang, mit dem ganzen, noch trockenen Theile unter Wasser. Als dieser Theil sich nunmehr auch vollgesogen hatte, stellte ich den Apparat wieder in der ursprünglichen Lage auf, wobei die untere Alcarraza bis zum Hals in Wasser tauchte. Der Apparat wurde weiterhin nach vier Wochen auseinander genommen. Es zeigte sich währenddem, dass die

---

1) l. c. p. 386.

2) Ueber die Ursache der raschen Verminderung der Filtrationsfähigkeit von Zweigen für Wasser, Bot. Ztg., 1879, Sp. 307.

Wasserzufuhr durch das 2 cm weite Glasrohr wohl ausgereicht hatte, um den Inhalt des Rohrs im imbibirten Zustande zu erhalten, nicht aber um den Transpirationsverlust an der 22 cm hohen, im Bauchtheil 10 cm Dicke erreichenden Alcarraza zu decken. Diese war in Folge dessen annähernd ausgetrocknet. — Einen zweiten Versuch stellte ich hierauf in ganz entsprechender Weise bei Verwendung von Kieselguhr an. Das grosse Wasseraufsaugungsvermögen dieses feinmehligen Minerals ist bekannt. Es bewährte sich auch am besten von allen geprüften Substanzen. Die Untersuchung zeigte in dieser Kieselguhr vorwiegend Diatomeenschalen, der Mehrzahl nach äusserst winzige Formen, ausserdem feinkörnigen Detritus und vereinzelte Ballen einer bei Wasserzutritt sich mit blauer Farbe lösenden Substanz. Diese letztere kam der Beobachtung zu gute, da sie den Aufstieg des Wassers markirte. Die Kieselguhr wurde in ein 2 cm weites, 3,8 m langes Glasrohr eingestampft, eine Operation, die mit dieser Substanz leichter als mit Gyps zu bewerkstelligen war, und das Rohr in eine kleine, mit derselben Kieselguhr angefüllte Alcarraza dicht eingesetzt. Diese Alcarraza kam hierauf in Eosin-Wasser, das 3 % Carbolsäure enthielt, zu stehen. Am oberen Ende liess ich das Rohr offen. — In 100 Tagen wurde eine Steighöhe von fast genau 3 m erreicht. Auch hier markirte ich täglich den Aufstieg, der, abgesehen von den kleinen, schon erwähnten Flecken, auch deutlich an der Farbenveränderung der Kieselguhr zu erkennen war. Das Eosin blieb hingegen in der Kieselguhr fast um den halben Weg hinter dem Wasser zurück. — Der Aufstieg des Wassers betrug in den ersten 10 Tagen 84 cm; vom 10. bis zum 20. Tage 40 cm; vom 20 bis zum 30. Tage 30,5 cm; vom 30. bis zum 40. Tage 27 cm; vom 40. bis zum 50. Tage 25 cm. Dann sank er fortdauernd durchschnittlich um 2 cm in jeder der folgenden Decaden und betrug nur noch 12,5 cm vom 100. bis zum 110. Tage. Unregelmässigkeiten des Aufstiegs machten sich übrigens von Tag zu Tag geltend, von anderen Ursachen abgesehen, hauptsächlich dadurch veranlasst, dass es ja unmöglich gewesen war, die Kieselguhr ganz gleichmässig in das Rohr einzustampfen. In 100 Tagen hatte das Wasser eine Höhe von 301 cm im Rohre erreicht. Der Aufstieg hielt auch weiter, stätig langsamer werdend, an, bis nach 176 Tagen das obere Ende des Rohres in 3,8 m Höhe über dem Spiegel der

gebotenen Flüssigkeit erreicht war. Ungeachtet die Luft in den oberen Theilen des Versuchsraumes dauernd sehr warm und trocken war, reichte das nachgelieferte Wasser doch aus, um die Kieselguhr bis an deren obere, freie Fläche feucht zu erhalten. Ein Zurücktrocknen der Kieselguhr fand auch weiterhin nicht statt, ungeachtet der Apparat noch zwei Monate lang stehen blieb. Zugleich rückte der Farbstoff langsam nach, war aber doch, auch nach Ablauf dieser Zeit, noch etwa um 1 m von dem oberen Ende des Rohres entfernt [1]).

Es ist klar, dass bei einem, dem angegebenen Tempo entsprechenden Aufstiege, das Wasser den Gipfel eines hohen Baumes nie erreichen würde, selbst nicht bei einem sehr hohen Alter desselben. Das hat Jamin bei seinen theoretischen Erörterungen ausser Acht gelassen, wie er denn auch andererseits annahm, dass das Wasser in der Pflanze in weit engeren Hohlräumen aufsteige, als dies wirklich der Fall ist.

Weit höhere Kräfte sind es noch, die sich bei der Imbibition organischer Körper geltend machen, doch in dem Maasse, als sie anwachsen, nehmen auch die Widerstände zu, welche sich der Bewegung des nachrückenden Wassers entgegensetzen. Der Aufstieg desselben wird alsbald unmerklich und vermag die Transpirationsverluste auch in ganz unbedeutender Höhe nicht mehr zu decken. Trockene Pflanzentheile, die wir ins Wasser stellten, vermochten nur wenige Centimeter hoch dasselbe zu heben und aufzuquellen. Sie thaten dies so weit nur, als die capillare Wirkung der in diesem Zustande schlecht benetzbaren Wasserbahnen reichte. Wie Sachs [2]) zeigte, nimmt

1) Nach den Angaben in Sénebier's Physiologie végétale (Bd. IV, p. 122) fand Delahire, dass in einem Löschpapierstreifen von 1,3 cm Breite das Wasser nur 16 cm stieg. In einem 6,77 mm weiten Glasrohr, das mit Badeschwammstückchen gefüllt war, war ein Aufstieg des Wassers von nur 2,7 cm zu constatiren. Das Wasser erhob sich bis auf 28 cm in einer Röhre, die mit gedrehtem Papier gefüllt war, und 48 cm in 7 Tagen in einer Röhre mit nicht gedrehtem Papier. — In einer Schnur oder in Stoffen, die aus gedrehten Fäden bestehen, soll, wenn sie erst befeuchtet sind, das Wasser nach Sénebier (l. c. p. 139) bis zu jeder Höhe steigen.

2) Ueber die Porosität des Holzes. Arb. des bot. Inst. zu Würzburg, Bd. II, p. 315.

auch ein lufttrockener Thallus von Laminaria, der in Wasser gestellt wird, dasselbe nur so weit auf, als er in Wasser taucht; unmittelbar über dem Wasserspiegel bleibt bereits die Quellung aus und stellt sich selbst nach Wochen nicht ein. Der Laminaria-Thallus ist noch im Nachtheil gegen in Wasser gestellte Stengeltheile, was sich daraus erklärt, dass ihm die röhrenförmigen Wasserbahnen fehlen, welche in letzterem das Wasser capillar heben. Selbst frische saftige Laminariastiele lassen, in Wasser gestellt, ihren in die Luft ragenden Theil austrocknen, und nur der in Wasser tauchende untere bleibt feist und wasserreich [1]).

Zur Zeit, als es mir gelang, in getödteten Pflanzentheilen das Wasser bis zu bedeutender Höhe zu heben, wurde der Gedanke in mir auch angeregt, den Versuch mit einem Hanfseil, unter denselben Bedingungen wie mit jenen Pflanzentheilen, anzustellen. Zunächst wurde ein gewöhnliches Hanfseil von Daumendicke, dann ein ebenso starkes, auf besondere Bestellung angefertigtes verwandt. Dieses letztere unterschied sich von dem ersteren dadurch, dass es in seinem Innern aus parallel in der Längsrichtung verlaufenden Fasern bestand. Die beiden, je 15 m langen Seile wurden zunächst eine Stunde lang in Wasser gekocht, um sie mit Wasser zu imbibiren und von aller Luft zu befreien. Hierauf erhielten sie eine Art von Epidermis aus Wachsleinwand. Dieses geschah, indem sie möglichst fest mit dieser Wachsleinwand umrollt und dann mit dünnem Bindfaden dicht umwunden wurden. Die beiden Seile liess ich aufrichten und setzte sie mit dem unteren Ende in Eosin-Wasser. Für Wasserverlust durch Verdunstung war das obere Ende auf einer 50 cm langen Strecke ohne Wachsleinwand gelassen. Die Seile trockneten an diesem unverhüllten Ende alsbald aus. Sie blieben hingegen feucht in den geschützten Theilen. Das zweite Seil liess ich über drei Monate lang stehen. Die Flüssigkeit in dem Gefässe nahm während dieser Zeit nur unbeträchtlich ab. Als der Versuch unterbrochen wurde, reichte die Eosin-Färbung nur ca. 50 cm hoch über den Flüssigkeitsspiegel im Seile herauf. Die Fasern zeigten sich bis auf geringe Entfernung von dem oberen, entblössten Ab-

1) Ueber die Porosität des Holzes. Arb. des bot. Inst. zu Würzburg, Bd. II, p. 315.

schnitt imbibirt, hingegen war zwischen denselben kein Wasser vorhanden. Das Imbibitionswasser konnte somit von unten nachgeliefert werden, doch erfolgte der Aufstieg nur äusserst langsam und konnte bei weitem nicht ausreichen, um die durch Verdunstung verursachten Verluste an dem unverhüllten Seilende zu decken. Die so überaus rasche und ausgiebige Thätigkeit des Wasserleitungsapparates in der Pflanze ist eben an einen ganz bestimmten Bau desselben geknüpft. Dieser Bau bleibt auch in dem getödteten Pflanzentheil erhalten, daher der Unterschied in seiner Leistungsfähigkeit dem mit Wasser injicirten Seile gegenüber.

Ob das bei Quellungserscheinungen, der geläufigen Vorstellung nach, in die Molecularinterstitien aufgenommene Wasser denselben Gesetzen folgt, wie das in Haarröhrchen aufsteigende, lässt sich nicht entscheiden. Sollten die Imbibitionsvorgänge der organisirten Substanz auch auf Capillarität beruhen, so müsste es der Zug hohler Menisken sein, der auch das Vordringen des Wassers innerhalb der Molecularinterstitien bedingt. Aus den Versuchen von Naegeli und Schwendener scheint hervorzugehen, dass die bekannten Gesetze der Capillarität noch für Röhrchen von 0,003 mm Weite gelten; ob dies für Molecularinterstitien der Fall ist, ist nicht direct festzustellen. Schwendener fasst auch in seiner letzten Publication die Erscheinungen der Capillarität und Imbibition von einem gemeinsamen Gesichtspunkte auf[1]), und in der That liesse sich ja auch schwer entscheiden, an welcher Stelle die Grenze zwischen Capillarität und Imbibition zu ziehen sei. Ob das Eindringen des Wassers zwischen die festen Theile dieser Substanz mit einer Volumenveränderung des ganzen Gerüstes verbunden ist oder nicht, bleibt für die Auffassung der Erscheinungen irrelevant. Wesentlich ist nach Schwendener nur, dass die Substanz des Gerüstes sich im festen Aggregatzustand befinde. Schwendener stellt sich vor, dass die capillaren Erscheinungen dann mit Quellungserscheinungen sich verbinden, wenn die Zwischenräume so klein werden, dass die Anziehung zwischen fester Wandfläche und Wasser weiter reicht als der halbe Abstand der opponirten Wände. Alsdann würde die Anziehung zwischen Substanz und Wasser, für sich allein betrachtet, ein Auseinanderdrängen

1) Untersuchungen über das Saftsteigen, l. c. p. 588.

der Wände und somit eine Volumenvergrösserung herbeiführen, während die concaven Menisken nach wie vor auf eine Volumenverminderung hinwirken müssen [1]).

Je enger das System von Capillaren wird, um so mehr wachsen die Reibungswiderstände an, welche eine rasche Bewegung des Wassers verhindern. Anerkannter Maassen befindet sich die Flüssigkeitsschicht, welche der Wand einer Capillare unmittelbar anliegt, in Ruhe. Die in Strömung befindlichen Theile müssen also eine Reibung gegen diese unbewegliche Wandschicht erfahren, und ihre Bewegung wird um so mehr verlangsamt werden, je näher sie sich dieser Wandschicht befinden. Daher diese Vorstellung nothwendiger Weise zu einer sehr langsamen Bewegung von Wasser innerhalb der Molecularinterstitien führen muss.

Mit dem Augenblicke, wo der Nachweis geliefert ist, dass das Wasser in der Pflanze in den Hohlräumen der Wasserbahnen und nicht innerhalb der Molecularinterstitien der Membranen sich bewegt, verlieren die eben geführten Erörterungen ihre unmittelbare Bedeutung für das Problem der Wasserhebung. Innerhalb der Pflanze ist diese Aufgabe in anderer Weise gelöst worden, und zwar in einer Weise, welche die Vortheile des raschen Aufstiegs, wie er in weiten Capillaren möglich ist, mit Kraftwirkungen verband, wie sie bei Capillarleistungen nur innerhalb sehr enger Hohlräume sich einstellen. Auch für das Röhrensystem der Pflanze, in welchem das Wasser sich bewegt, müssen aber dieselben Gesetze wie für andere Röhrensysteme gelten, dass nämlich die der Wandung nächste Wasserschicht unbeweglich sei. Dieses kommt um so mehr in Betracht, als wir feststellen konnten, dass der Wasserstrom in der Pflanze sich auch zwischen Luftblasen und Wandung der Wasserbahn bewegt. Die Dicke der unbeweglichen Wasserschicht an dieser Wand wäre aber nach Quincke [2]) nur auf 50 Milliontheile eines Millimeters zu setzen, ein Maass, welches jenseits der mikroskopischen Wahrnehmung liegt. Nichtsdestoweniger wird die Bewegung in dieser dünnen Wasserschicht bedeutende Widerstände zu überwinden haben und somit auch entsprechende Kräfte be-

1) Vergl. im Uebrigen Schwendener, l. c. p. 589 ff.

2) Ueber die Entfernung, in welcher die Molecularkräfte der Capillarität noch wirksam sind, Poggend. Ann., Bd. CXXXVII, p. 402.

anspruchen. Wären diese Widerstände nicht vorhanden, so könnten auch die in der Wasserbahn vertheilten Luftblasen nicht so wesentlich dazu beitragen, die Wasserfäden zu tragen.

Da die Capillarität eine so grosse Rolle bei der Erklärung des Wassersteigens in der Pflanze gespielt hat und noch spielt, so verlohnt es sich direct zu prüfen, was die pflanzlichen Wasserbahnen als Capillaren zu leisten vermögen. Es verlohnt sich das um so mehr, als die Wände dieser Wasserbahnen sich im imbibirten Zustande befinden, und hieraus die Frage entsteht, ob dieser Zustand nicht ihre Leitungsfähigkeit beeinflusst.

Zu meinen Versuchen dienten Internodialstücke von Vitis und Aristolochia. Sie kamen getödtet zur Verwendung, um einen störenden Einfluss lebendiger Elemente zu eliminiren. Die Versuchsstücke wurden längere Zeit gebrüht, dann in Alcohol eingelegt und diesem erst zur weiteren Verwendung entnommen.

Wie zunächst erinnert werde, hängt die Steighöhe im Capillarrohr von der specifischen Cohäsion der Flüssigkeit ab und ist umgekehrt proportional dem Radius der Röhre, wenn diese gut benetzt wird. Für Wasser beträgt die Steighöhe in abgerundeter Zahl 30 mm für eine Röhre von 1 mm Durchmesser. Für Alcohol und Aether, mit welchem ebenfalls experimentirt wurde, nahm ich als capillare Steighöhe für dieselbe Röhrenweite 12 und 10 mm an, als Mittel aus den nicht ganz übereinstimmenden Angaben der verschiedenen Beobachter [1]). Die Versuchsobjecte wurden vor dem Versuch für längere Zeit in die Flüssigkeit gelegt, mit welcher experimentirt werden sollte, und um Fehlerquellen durch zurückgebliebene Luftblasen möglichst auszuschliessen, dann noch unter der Wasserstrahlluftpumpe mit der betreffenden Flüssigkeit injicirt und diese längere Zeit durchgesogen. Dabei war das Object vollständig in einen mit der Untersuchungsflüssigkeit gefüllten Glascylinder eingetaucht. Nach vollzogener Vorbereitung verblieb das Object in der Flüssigkeit des Cylinders, die Bestimmung des Capillaritätsniveaus für die einzelnen Gefässe erfolgte aber, indem das Object in senkrechter Stellung fixirt, der Glascylinder hierauf gesenkt und der Flüssigkeitsspiegel dadurch immer tiefer gelegt wurde. Ueber der oberen Querschnittsfläche des Versuchs-

1) Vergl. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, IV. Aufl., 1882, und Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik, IX. Aufl., 1886.

objects war an passendem Stativ ein Mikroskop angebracht, das eine Beobachtung der einzelnen Gefässe bei 90-facher Vergrösserung ermöglichte. Diejenigen Gefässe, in welchen der Meniscus den oberen Rand gerade erreichte, wurden jedesmal gezeichnet und gemessen, zugleich die Höhe des Meniscus über dem Wasserspiegel des Gefässes bestimmt. Es ist ohne weiteres klar, dass mit wachsender Entfernung der oberen Querschnittsfläche von dem Flüssigkeitsspiegel die Zahl der gefüllten Gefässe abnahm, und dass bei extremer Entfernung nur noch die engsten Gefässe gefüllt sich zeigten. Jede neue Bestimmung wurde erst vorgenommen, nachdem der die Flüssigkeit führende Cylinder mehrfach auf und ab bewegt worden war. Jede solche Bewegung begleitete ein entsprechendes Steigen und Fallen der sichtbaren Menisken innerhalb der Gefässe. Das Sinken ging ganz glatt von Statten, während das Steigen oft ruckweise erfolgte, was sich beides wohl aus den gegebenen Structuren der Wandung hinreichend erklärt. Denn beim Sinken des Meniscus werden vorspringende Stellen der Innenwandung kaum ein Hinderniss des Fallens bilden, beim Steigen aber wohl den Meniscus an den Rändern aufhalten und abflachen, und so veranlassen, dass derselbe erst bei Steigerung des Druckes von unten her das Hinderniss überwinde. Eine andere Erscheinung, deren Erklärung weniger leicht fallen dürfte, war die, dass das Capillaritätsniveau für Wasser in pflanzlichen Gefässen sich nicht nur nicht höher, sondern wesentlich niedriger als in Glascapillaren stellt. Für Alcohol und Aether ist dies weit weniger der Fall. Ja es wurden für diese beiden Flüssigkeiten in weiteren Gefässen sogar Werthe notirt, welche die Steighöhen in Glascapillaren überschritten. Erst bei grösseren Steighöhen, somit für engere Gefässe, stellte sich auch hier eine Differenz zu Gunsten der Glascapillaren ein. Diese Differenz war freilich bis zuletzt unbeträchtlich zu nennen im Vergleich zu den Abweichungen für Wasser, wo der gefundene Werth gegen den für Glascapillaren berechneten oft um die Hälfte zurückstand. Störungen durch Verdunstungen konnten bei der Art der Versuchsanstellung nicht in Betracht kommen und hätten für Alcohol und Aether einen weit grösseren Ausfall ergeben müssen. Ebenso bewegten sich die Bestimmungen innerhalb solcher Weiten der Gefässe, für welche das umgekehrte Verhältniss der Steighöhe zum Durchmesser ja in vollem Maasse gilt. Es bleibt

also fast nur die Annahme übrig, dass eine Wechselwirkung zwischen der imbibirten Wand und dem Inhalt der Gefässe die Gestalt des Meniscus beeinflusst, denselben abflacht und so dessen Tragfähigkeit herabsetzt.

Ein 23 cm langes Aststück von Aristolochia Sipho wurde längere Zeit gebrüht, dann 2 Stunden lang Wasser durchgesogen, dann in Alcohol aufbewahrt, wieder in Wasser übergeführt, mit solchem injicirt, dann nochmals Wasser durchgesogen. Bei langsamem Senken des Glascylinders, in welchen das Aststück tauchte, verschwand das Wasser aus 0,3 mm weiten Gefässen am Querschnitt, als sich dieser 6,5 bis 7 cm hoch über dem Wasserspiegel befand. Aus Glascapillaren wäre dies erst bei ca. 10 cm Höhe erfolgt. Ich beginne mit diesen Werthen und schliesse die folgenden an:

Gefässweite	Beobachtete Steighöhe	Für Glascapillaren berechnete Steighöhe
mm	cm	cm
0,3	6,5—7	10
0,2	8	15
0,18	9,75	17
0,17	10,5	18
0,13	14	23
0,12	16	25
0,09	18	33
0,08	20	39
0,06 bei 23 cm noch gefüllt.		

Ein Aststück von Vitis, 20 cm lang, wurde gebrüht, in Alcohol aufbewahrt, in Wasser übergeführt, mit Wasser injicirt, Wasser längere Zeit durchgesogen. Weiteste Gefässe 0,24 mm. Bei 2,5 cm Höhe über dem Wasserspiegel alle Gefässe gefüllt, die Wassersäulen in ihrem Innern mit flachem Meniscus. Bei 5 cm Höhe wurden in den grössten Gefässen concave Menisken sichtbar.

Gefässweite	Beobachtete Steighöhe	Für Glascapillaren berechnete Steighöhe
mm	cm	cm
0,24	5	12,5
0,22	7	14
0,19—0,2	9	15
0,19	11	16
0,16	13	19
0,14	15	21
0,13	18	23
0,12	19	25

Ein Aststück, 20 cm lang, gebrüht, in absolutem Alcohol aufbewahrt, wurde mit absolutem Alcohol injicirt und dieser durchgesogen.

Gefässweite	Beobachtete Steighöhe	Für Glascapillaren berechnete Steighöhe
mm	cm	cm
0,3	4,3	4
0,2	6	6
0,17	7	7
0,13	9,5	9,2
0,09	14	13,3
0,06	19	20

Ein Aststück von Vitis, 21 cm lang, wie das vorhergehende behandelt und auf absoluten Alcohol geprüft.

Gefässweite	Beobachtete Steighöhe	Für Glascapillaren berechnete Steighöhe
mm	cm	cm
0,166	7	7
0,14	9	8,5
0,125	10,5	9,6
0,1	12	12
0,075	15	16
0,06	18	20
0,05	21	24

Ein wie das vorhergehende vorbereitetes, doch aus dem absoluten Alcohol in Aether übergeführtes, 20 cm langes Aststück von Vitis wurde mit Aether injicirt und nach längerer Durchsaugung von Aether der Versuch angestellt.

Gefässweite	Beobachtete Steighöhe	Für Glascapillaren berechnete Steighöhe
mm	cm	cm
0,17	5	6
0,13	8	7,6
0,12	9	8,3
0,1	10	10
0,075	12	13,3
0,055	14	18
0,04	16	25
0,037	19,5	27

Es lag nahe, jetzt anzunehmen, dass auch die capillaren Steighöhen zwischen parallelen Holzplatten allenfalls so hohe, keinesfalls aber höhere Werthe wie zwischen parallelen Glasplatten liefern würden. Zwischen parallelen Glasplatten steigt die Flüssigkeit bekanntlich ebenso hoch wie in einer Röhre, deren Radius gleich dem Abstande der Platten, also halb so hoch als in einer Röhre, deren Durchmesser gleich dem Abstande der Platten ist. — Wirklich parallele Holzplatten mit constantem Abstand, wie sie für solche Versuche erwünscht wären, zu erhalten, ist freilich ein Ding der Unmöglichkeit, daher ich mich

begnügte, überhaupt zu constatiren, dass auch zwischen an einander gedrückten Holzplatten, und so auch zwischen an einander gepressten Hälften gespaltener Holztheile keine erheblichen Steighöhen zu erzielen sind. Die nach Möglichkeit ebenen, aus frischem Holz in der Längs- und Querrichtung dargestellten Platten, sowie auch die einander entsprechenden Hälften meist frischer, der Länge nach gespaltener Stammstücke wurden möglichst sorgfältig auf einander gepasst und durch zahlreiche Klemmschrauben fixirt. An einer Anzahl dieser Objecte wurden vor dem Zusammenfügen die unteren Schnittflächen und einige Centimeter hoch auch die Aussenflächen mit flüssigem Wachs bestrichen. Die so vorbereiteten Objecte kamen hierauf mit dem unteren Ende in eine flache Schicht von Eosin-Wasser zu stehen. — Zwischen zwei parallelen, je 2 cm dicken, 15 cm hohen Brettchen, die aus einer 22 cm dicken Rothbuche der Länge nach geschnitten worden waren, stieg das Eosin-Wasser ziemlich übereinstimmend 4,5 cm, was bei Glasplatten einem Abstand von $^1/_3$ mm entsprochen hätte, der annähernd wohl auch bei diesen Holzplatten gegeben war. Wo der Wachsüberzug die untere Schnittfläche nicht ganz dicht abgeschlossen hatte, nahmen vereinzelte Gefässgruppen die Farbstofflösung auf und führten sie in wenigen Stunden bis zum oberen Querschnitt. — Zwischen zwei der Quere nach aus demselben Buchenholz geschnittenen Brettchen war der Aufstieg ganz unregelmässig. — Ein Stammstück der Rothtanne 1,36 m hoch, 18 cm dick, der Länge nach gespalten und zusammengefügt, liess zwischen seinen beiden Hälften, entsprechend dem Kernholz und der Rinde, die Farbstofflösung in 24 Stunden ca. 8 cm aufsteigen. Der Splint färbte sich in derselben Zeit 56 cm hoch. Die leitungsfähigen Tracheïden des letzteren hatten aber die Farbstofflösung aufgenommen und aufwärts geführt. Als eine der beiden Hälften dieses Stammstückes jetzt für sich von Neuem in die Eosinlösung gestellt wurde, erreichte der Farbstoff im Splint nach abermals 24 Stunden fast den oberen Querschnitt, im Ganzen 1,3 m Höhe. — Ein gespaltenes Aststück von Quercus, 8 cm dick, 1 m lang, führte zusammengefügt in 20 Stunden den Farbstoff zwischen seinen Spaltflächen an gefässfreien Stellen, die freilich auch von Tracheïden gebildet werden, 11 cm, innerhalb der Gefässe 40 bis 58 cm hinauf. — Ein entsprechendes Aststück von Robinia zeigte sich zwischen den Spaltflächen im Durch-

schnitt 8 cm (3—11 cm), in den Gefässen im Durchschnitt 38 cm (3—41 cm) hoch gefärbt. — Zwischen den Spaltflächen eines 2,5 cm dicken Wistaria-Astes stieg der Farbstoff im Durchschnitt 5 cm (4—6 cm), in den Gefässen bis 25 cm. Ein trocknes Stück Robinia-Ast liess endlich den Farbstoff zwischen den Spaltflächen im Durchschnitt 11 cm (4—15) in ganz vereinzelten Gefässen bis 16 cm verfolgen. — Dieser letzte Versuch mit trocknem Robinienholze, der zwischen den Spaltflächen dieselbe Steighöhe wie mit frischem Holze derselben Art ergab, zeigt, was ja auch leicht verständlich, dass es dem capillar aufsteigenden Wasser leichter ist, die Luft aus einem solchen Spalte als aus den einzelnen trachealen Elementen des Holzkörpers zu verdrängen.

Aus den Ergebnissen aller dieser mit einzelnen pflanzlichen Gefässen und mit parallelen Holzplatten angestellten Versuchen geht übereinstimmend hervor, dass der Zug concaver Menisken innerhalb der Wasserbahnen der Pflanzen das Wasser nicht einmal so hoch, ja sogar wesentlich weniger hoch als in Glascapillaren heben würde.

Doch im Innern der Pflanze kommt es überhaupt auch nicht auf eine Wasserhebung mit Menisken an. Die Wasserbahnen werden bei ihrer Anlage in der Keimpflanze gefüllt und füllen sich auch weiter nach in dem Maasse, als sie sich vergrössern. In einer lebendigen Pflanze können nur einzelne Abschnitte der Bahn zeitweise entleert werden und bei deren Wiederfüllung werden sich dann auch sicher an den aufsteigenden Wasserfäden Menisken bilden. Die wichtigste Rolle fällt aber bei dieser Wiederfüllung, der Saugung des luftverdünnten Raumes zu. Sind die gesammten Bahnen der Pflanze unterbrochen worden, so dürfte der Schaden unmittelbar darauf noch durch Luftdruck auszugleichen sein, sonst aber der Tod der Pflanze sehr bald folgen. Durch Capillarität könnten ihre Bahnen keinesfalls wieder nachgefüllt werden.

Mit Recht sind, von dem Augenblicke an, wo man in der Pflanze die Wasserströmung in die Hohlräume der Bahnen verlegte, die Luftblasen im Innern dieser Bahnen als ein besonderes Hinderniss empfunden worden, mit dem alle Erklärungsversuche des Wasseraufstiegs zu rechnen hätten. Man ging dabei von der Annahme aus, dass eine aus Luft- und Wassergliedern bestehende Kette innerhalb pflanzlicher Wasser-

bahnen ebenso unbeweglich sein müsse wie im Innern von Glascapillaren. Solche „Jamin'schen Ketten"[1]) vermögen bekanntlich, bei grösserer Gliederzahl, selbst sehr bedeutendem einseitigem Druck Widerstand zu leisten.

Diese Unbeweglichkeit der Jamin'schen Luft-Wasserkette in Glascapillaren sucht Naegeli[2]) auf eine gesteigerte Widerstandsfähigkeit des in Ruhe befindlichen Meniscus zurückzuführen. Da in der Capillare die nicht strömende Wandschicht mit dem Häutchen des Meniscus einen geschlossenen Schlauch bilde, so könne die Flüssigkeit nur ins Strömen kommen, wenn der Widerstand dieses Häutchens überwunden wird, d. h. wenn die in relativer Ruhe sich befindenden Theilchen desselben beweglicher werden[3]). Könnte man, meint Naegeli, allen Menisken eines mehrfach unterbrochenen capillaren Wassercylinders gleichzeitig die gewöhnliche Beweglichkeit der Flüssigkeitstheilchen verleihen, so würde dieser einem Anstoss keinen grösseren Widerstand entgegensetzen als eine ununterbrochene Säule[4]).

In der geringen Beweglichkeit der zur Ruhe gekommenen Menisken erblickt auch Zimmermann[5]) die Ursache der grossen Widerstandsfähigkeit der Jamin'schen Kette gegen eine bewegende Kraft. Er experimentirte auch nur mit Glascapillaren, weil ihm die experimentellen Hindernisse auf pflanzlichem Gebiet zu gross schienen. Ob sich freilich imbibitionsfähige Cellulosemembran ebenso wie Glas verhalte, liesse sich, meint Zimmermann, nicht a priori entscheiden. Doch scheint ihm eine Uebereinstimmung wahrscheinlich, da bei den in Betracht kommenden Erscheinungen nicht die zwischen Wand und Flüssigkeit bestehenden Molecular-Kräfte, sondern vielmehr die Constitution der Menisken hauptsächlich in Frage kommt[6]). Zimmermann constatirte zunächst wieder, dass die Widerstandsfähigkeit einer Jamin'schen

---

1) Jamin, Mémoire etc. Comptes rendus, Bd. L, 1860, p. 173.

2) Ueber die Theorie der Capillarität, Stzbr. d. kgl. Bay. Akad. d. Wiss. 1866, I, p. 597, 605, 609.

3) l. c. p. 611.

4) l. c. p. 612.

5) Ueber die Jamin'sche Kette, Ber. d. Deutsch. bot. Gesell., 1883, p. 384.

6) l. c. p. 391.

Kette, gleich nach deren Bildung, verschwindend klein ist. Man kann, wenn man rasch operirt, eine sehr grosse Zahl von Luftblasen, abwechselnd mit Wassertröpfchen, in eine Capillarröhre bringen. Lässt man die Jamin'sche Kette ruhen, so wächst rasch der Widerstand, den sie einer bewegenden Kraft entgegensetzt und hat nach einigen Stunden seinen grössten Werth erreicht. Zimmermann [1]) findet, dass der Widerstand, den eine Jamin'sche Kette einem einseitigen Drucke entgegensetzt, proportional ist der Anzahl der Luftblasen, aber unabhängig von ihrer Länge, ebenso auch unabhängig von der Länge der Wassersäulen. Er ist minimal, wenn die Jamin'sche Kette sich in Bewegung befindet und um so grösser, je länger dieselbe zuvor in Ruhe war. Seinen grössten Werth erreicht derselbe erst nach einigen Stunden, wo derselbe für Glasröhren von 0,2 bis 0,02 innerem Durchmesser und für destillirtes Wasser $^1/_4$ — $^1/_6$ der Capillarkraft erreicht. Innerhalb der genannten Grenzen findet mithin auch eine umgekehrte Proportionalität zwischen Röhrenweite und der gesuchten Grösse statt.“ Der Widerstand der beiden eine einzige Luftblase umgebenden Menisken in der Jamin'schen Kette liegt somit nach Zimmermann zwischen $^1/_4$ und $^1/_6$ der Capillarkraft der betreffenden Röhre. Aus dem so gewonnenen Resultat war aber auch zu entnehmen, wie gross die Wassersäulen in einer Jamin'schen Kette sein können, ohne auf die eingeschlossenen Luftblasen in Folge ihrer Schwere einen Druck auszuüben. In einer Röhre von 0,1 mm, deren Steighöhe ca. 300 mm beträgt, würde eine Wassersäule von $^1/_6$ dieser Grösse, somit von 50 mm, noch getragen werden. In einer Röhre von 0,05 mm Durchmesser könnte eine beliebig lange Wassersäule getragen werden, wenn dieselbe nur alle 100 mm durch eine Luftblase unterbrochen wäre. Dass es auf die Constitution der Menisken vor allem ankommt, dafür findet Zimmermann eine Stütze in seinen Versuchen mit solchen Flüssigkeiten, für welche Plateau eine geringere Zähigkeit (Viscosität) an der Oberfläche als im Innern angiebt. Es stellte sich bei Versuchen mit Alcohol, Aether, Benzol, Essigsäure, Terpentinöl und Milchsäure heraus, dass eine aus denselben gebildete Jamin'sche Kette auch nach längerer Ruhezeit der bewegenden Kraft entweder gar keinen oder doch nur einen minimalen

---

1) l. c. p. 391.

Widerstand entgegensetzt [1]). Hieraus folgert schliesslich Zimmermann, dass die Naegeli'sche Theorie, nach welcher die Unbeweglichkeit der Jamin'schen Kette bei Wasser in einer grösseren Viscosität der Oberfläche ihren Grund hat, durch seine Versuche die volle Bestätigung findet [2]). Dass Ketten aus Alcohol und Luft oder Oel und Luft innerhalb der Capillaren dem Drucke keinerlei Widerstand entgegensetzen, hatte schon Jamin [3]) festgestellt. Dass dem Wasser aber in Wirklichkeit, im Gegensatz zu Alcohol und Oel und den anderen genannten Flüssigkeiten, eine grössere Viscosität an der Oberfläche als im Innern zukäme, ist von verschiedenen Seiten in Frage gestellt worden. Namentlich geschah das neuerdings wieder durch Lord Rayleigh [4]), der sich bemühte, nachzuweisen, dass die genannte Erscheinung beim Wasser nur eine Folge einer Verunreinigung seiner Oberfläche sei, die vollständig zu beseitigen nur durch ganz bestimmte Vorrichtungen gelingt. Bei absolut reiner Oberfläche soll auch das Wasser keine grössere Viscosität an der Oberfläche als im Innern zeigen, womit auch eine solche Eigenschaft nicht als Stütze der Naegeli'schen Deutung seines Verhaltens in Jamin'schen Ketten herangezogen werden könnte.

Auf diese Unbeweglichkeit der Jamin'schen Wasser-Kette hat Schwendener [5]) auch innerhalb des trachealen Systems der Pflanzen gebaut. Er nimmt auf Grund directer Messungen von Luftblasen und Wassersäulen in den Gefässen der Rothbuche für die Länge beider einen mittleren Werth von 0,469 mm an. Bei gleichzeitiger Berücksichtigung der R. Hartig'schen Angaben über den Wassergehalt der Tracheïden bei den Coniferen glaubt er seine weiteren theoretischen Erörterungen auf der Basis stützen zu können: dass „in jedem Gefäss unserer Laubhölzer eine Jamin-sche Kette sich befindet, deren Luftblasen im Durchschnitt etwa eine Länge von 0,33 mm besitzen, während die damit alternirenden Wassersäulen nur ungefähr 0,14 mm erreichen.“ „Je eine Luftblase und eine Wassersäule beanspruchen also zusammen-

1) l. c. p. 394.

2) l. c. p. 395.

3) Comptes rendus, Bd. L, 1860, p. 175.

4) On the superficial Viscosity of Water, Proceedings of the Royal Society. Vol. XLVIII, 1890, p. 127.

5) Untersuchungen über das Saftsteigen, Stzber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1886, Bd. XXXIV, p. 568.

genommen eine Röhrenlänge von 0,47 mm oder in abgerundeter Zahl 0,5 mm". — Hierauf suchte Schwendener auf experimentellem Wege an 4—12 cm langen Wurzel- und Aststücken der Rothbuche, Erle, Pappel, Eiche und Weide zu ermitteln, welche Druckhöhe ausreicht, um die Jamin'sche Kette in denselben in Bewegung zu setzen und folglich einen mehr oder weniger lebhaften Luftaustritt am umgekehrten Ende hervorzurufen. Es stellte sich heraus, dass die gewonnenen Werthe weit hinter denjenigen, die sich aus den Zimmermann'schen Versuchen mit Glascapillaren ergaben, zurückblieben. Statt des für ein Gliederpaar (Luftblase und Wassersäule) von 0,5 mm bei einer Röhrenweite von 0,05 mm erwarteten Widerstandes von 100 mm Wasser ergaben sich bei einer ungefähr gleichen Weite der ausschlaggebenden Gefässröhren nur etwa 5—10 mm pro Gliederpaar. „Man könnte", meint Schwendener[1]), „versucht sein, diesen Unterschied mit der Imbibitionsfähigkeit der Gefässwand in irgend welchen Zusammenhang zu bringen. Da jedoch erfahrungsgemäss für die Capillaritätserscheinungen nur die Benetzbarkeit der Substanz, nicht ihre chemische und moleculare Zusammensetzung maassgebend ist, so muss jede Vermuthung dieser Art von vornherein zurückgewiesen werden." Schwendener zieht es daher vor, Fehlerquellen in der Längebestimmung der Gliederpaare anzunehmen. Er hält es für „sicher, dass die gefundenen Zahlenwerthe, sowohl für die Länge der Gliederpaare als für die hieraus berechneten Verschiebungswiderstände, kleiner sind als die wirklichen, und zwar so erheblich, dass statt ihrer wahrscheinlich richtiger deren Multipla gesetzt werden können"[2]).

Thatsächlich liegt aber der Fehler hier ganz wo anders, nämlich in der Annahme, dass die für Jamin'sche Luft-Wasserketten in Glascapillaren gefundenen Gesetze auch für die Luft-Wasserketten in den trachealen Bahnen der Pflanzen gelten. Vor allem liessen Zimmermann und Schwendener unberücksichtigt, dass in dem Verhalten der Jamin'schen Ketten innerhalb der Glascapillaren nur ein Specialfall vorliegt, der zunächst nur für Glascapillaren seine Gültigkeit hat.

In seiner Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires trat bereits Plateau, un-

1) l. c. p. 570.
2) l. c. p. 571.

geachtet er für Wasser eine grössere Viscosität an der Oberfläche als im Innern annahm, der Naegeli'schen Deutung der Jamin'schen Luft-Wasserkette entgegen[1]). Plateau fand nämlich, dass die enormen Widerstände, welche für Jamin'sche Luft-Wasserketten bestehen, nicht durch die grössere Viscosität der Oberfläche veranlasst sein können, vielmehr darin ihren Grund finden, dass es den Wassergliedern der Kette sehr schwer wird, sich in einer Capillare zu bewegen, deren innere Wandung unvollkommen benetzt ist. Bei vollkommener Benetzung weisen die getheilten Wassersäulen nur sehr schwache Widerstände auf. Der wachsende Widerstand in einer ruhenden Jamin'schen Kette sei nicht veranlasst durch die gesteigerte Widerstandsfähigkeit der zur Ruhe gekommenen Menisken, vielmehr die Folge einer energischen Saugung, welche die concaven Menisken der Wassersäulen auf die Wasserschicht ausüben, welche zwischen ihnen die Wände des Rohres benetzt. Diese Saugung habe ein rasches Schwinden dieser Wasserschicht, somit eine Trockenlegung der betreffenden Wandabschnitte des Rohres zur Folge.

Somit sind die Unterschiede, welche zwischen einer Jaminschen Kette aus Wasser und einer solchen aus Alcohol, Aether, Benzol u. s. w. bestehen, nur dadurch bedingt, dass das Wasser so schlecht in Capillaren mit trocknen Wänden sich bewegt.

Das entspricht auch denjenigen Erfahrungen, die wir an Pflanzentheilen zu sammeln Gelegenheit hatten, die wir trocken mit ihrem unteren Ende in Wasser einerseits, in Alcohol, Aether, Terpentin, Benzol u. s. w. andererseits stellten. Alle letztgenannten Flüssigkeiten steigen in den trockenen trachealen Bahnen der Pflanze unvergleichlich besser als das Wasser.

Also auch die trocknen pflanzlichen Membranen werden von Wasser weit schlechter als von den zuvor genannten Flüssigkeiten benetzt, und dieses ist auch die Ursache, dass man aus lufthaltigen pflanzlichen Präparaten die Luft um so viel leichter durch Alcohol als durch Wasser verdrängen kann.

Innerhalb der Wasserbahnen der Pflanze vermögen die die Luftblasen abgrenzenden Menisken nicht die imbibirte Wand trocken zu legen. Es wird vielmehr an denselben durch Adhäsion eine Wasserschicht festgehalten, welche von der grössten

1) Bd. II, 1873, p. 82.

Bedeutung für den ganzen Wassertransport in der Pflanze ist, dass sie den Zusammenhang zwischen den einzelnen Abschnitten der Wasserfäden vermittelt.

Wenn somit in den Wasserbahnen der Pflanze Luftblasen die Wasserglieder tragen und einem einseitigen Druck einen bestimmten Widerstand entgegensetzen, so muss das seine anderen besonderen Ursachen haben. Die Structuren der Gefässwindungen spielen dabei eine Rolle, indem sie die Reibungswiderstände vermehren. In den sich nach den Enden zuschärfenden Tracheïden treibt zugleich die Erweiterung des Durchmessers die Luftblasen nach den mittleren Theilen und fixirt sie dort mehr oder weniger in ihrer Lage. Sind es aber in pflanzlichen Wasserbahnen andere Ursachen, welche die Beweglichkeit der Luftblasen herabsetzen, so folgt daraus auch, dass sich die Widerstände dort nicht mit den Widerständen decken können, welche eine Jamin'sche Luft-Wasserkette in Glascapillaren aufweist. Die von Schwendener für Ast- und Wurzelstücke gefundenen Werthe lassen sich somit mit den von Zimmermann gewonnenen nicht vergleichen.

Um einen controlirbaren Einblick in die Widerstände zu gewinnen, welche Luftblasen in einer Wasserbahn einem einseitigen Druck entgegensetzen können, ohne bewegt zu werden, wandte ich mich wieder an die beiderseits offenen weiten Gefässe und nahm als Versuchsobjecte von neuem die Internodialstücke von Vitis und Aristolochia, ausserdem auch Aststücke von Wistaria und Luftwurzelstücke von Philodendron vor. Die vorbereitende Behandlung der Objecte war die nämliche, wie für die Versuche über den capillaren Aufstieg gewesen. Für die Länge derselben hielt ich an 20 cm fest.

Schwendener[1]) musste bei 12 cm langen frischen Wurzelstücken von Fagus silvatica einen Wasserdruck von 120 cm anwenden, um eine lebhafte Luftströmung hervorzurufen, während bei 60 cm Druck nur ein äusserst spärlicher Austritt von Luftblasen erfolgte. Frische, 10 cm lange Wurzelstücke von Alnus glutinosa erforderten für starken Luftaustritt einen Wasserdruck von 120 cm, während auf 13 cm lange und noch längere Wurzelstücke derselbe Druck ohne Wirkung war. 8 cm lange Quadranten aus gespaltenen Aesten von Populus alba und Betula

1) Untersuchungen über das Saftsteigen, p. 569.

alba, nach Entfernung des Markes untersucht, zeigten lebhaftes Austreten von Luftblasen bei 120 cm Wasser. Noch um ein Viertel stärkeren Widerstand setzten dem Luftaustritt zolldicke Aeste von Quercus Robur entgegen; während daumendicke Aeste von Fagus silvatica in 6 cm langen Stücken die Luft wieder bei 60 cm Wasserdruck austreten liessen. Mehrjährige Zweige von Salix fragilis lieferten etwas schwankende Werthe, die annähernd denjenigen von Populus und Betula entsprachen.

Die von Schwendener gefundenen Zahlen sind relativ hoch, was sich aus einer Häufung von Widerständen innerhalb der gewählten Objecte erklärt. Auffällig ist, dass Schwendener gerade bei der Eiche, welche unter den von ihm benutzten Hölzern die weitesten Gefässe besitzt, die höchsten Druckkräfte anwenden musste, um die Luft auszutreiben.

In meinen Versuchsobjecten wurden die Luft-Wasserketten künstlich hergestellt. Um dies zu erreichen, bediente ich mich verschiedener Methoden. Einerseits liess ich den Pflanzentheil Wasser aus einem nassen Läppchen aufsaugen, welchem er in rascher Folge mit der unteren Schnittfläche aufgetupft wurde; andererseits trug ich die Tropfen mit der Pipette der oberen Schnittfläche des Objects in dem Maasse auf, als sie eingesogen wurden. Für das erste Verfahren hatte ich mir einen kleinen Apparat construirt, aus einem gezähnten, vertical rotirenden Rade bestehend, das einen kleinen Hebel, an dessen Ende der Pflanzentheil befestigt war, in rascher Aufeinanderfolge hob. Das untere Ende des Versuchsobjects schlug dabei senkrecht auf das feuchte Läppchen auf, während am oberen Ende gleichzeitig eine schwache Saugung wirkte. Bei dem zweiten Verfahren war der Pflanzentheil mit Wasser vollkommen angefüllt, mit einem ebenfalls gefüllten, 1 m langen Glasrohr an seinem unteren Ende durch Gummischlauch verbunden und durch Senkung des Rohres die Saugung angebracht. Gleichzeitig beobachtete ich die obere Schnittfläche und trug auf dieselbe, in dem Maasse als das Wasser in den Gefässen sank, neue flache Wasserschichten mit einer fein ausgesogenen Pipette auf. Nachdem ich hiermit begonnen, wurde das Glasrohr gerade abwärts gesenkt und so die volle Saugung der 1 m hohen Wassersäule zur Geltung gebracht.

Nach dem einen wie nach dem anderen Verfahren war es

nur in einem Theile der Gefässe möglich, Luft-Wasserketten von beträchtlicher Gliederzahl herzustellen. Nur solche Gefässe liessen die Herstellung von Luft-Wasser-Ketten in ihrem Innern zu, welche bei der gegebenen Länge des Objects nicht unüberwindliche Hindernisse der Bewegung der Luftblasen entgegensetzten. In einer grossen Zahl Gefässe fanden sich solche Hindernisse alsbald ein. Dieselben enthielten dann nur eine oder einige wenige Luftblasen. Andere Gefässe führten vielgliedrige Ketten. Das wurde später direct durch Herauspressen des Inhalts controlirt. Dieses Herauspressen erfolgte, indem ein mit Wasser angefülltes, durch Gummischlauch mit dem unteren Ende des Objectes verbundenes, 1 m langes Rohr langsam an seinem freieren Ende gehoben wurde. Gleichzeitig beobachtete ich den oberen Querschnitt des Objectes mit starker Lupe. Bei Austritt von Luftblasen aus den Gefässen wurde die Höhendifferenz zwischen dem äusseren Ende des Glasrohrs und der oberen Schnittfläche des Objects notirt. Die Beobachtungen ergaben ziemlich übereinstimmende Resultate.

Es zeigte sich, dass schon bei sehr geringem Ueberdruck Wasser aus den Gefässen hervortrat, auch aus denjenigen, die sich später als luftwasserkettenhaltig erwiesen. Auch diese Versuche lehrten somit, dass das Wasser an den Luftblasen vorbeifliessen kann, und zwar bei Druckdifferenzen, welche nicht ausreichten, um diese Luftblasen selbst in Bewegung zu versetzen.

Bei steigendem Druck, etwa zwischen 10 und 20 cm Wasser, pflegten aus einzelnen Gefässen einige wenige Luftblasen zu entweichen. Solche Gefässe enthielten keine anderen Luftblasen mehr, oder wenigstens keine mehr in ihrem oberen Theile.

Bei weiterer Steigerung des Druckes, etwa zwischen 40 und 50 cm Wasser, traten wirkliche Ketten aus einigen weiteren Gefässen hervor, und dieser Austritt erstreckte sich auch auf engere Gefässe in dem Maasse, als der Druck noch zunahm. Die ungleiche Zahl der in den einzelnen Gefässen vertretenen Luftglieder, sowie sonstige Hindernisse, die sich der Bewegung der Luftblasen entgegensetzen, mussten es freilich bedingen, dass jede strenge Gesetzmässigkeit in der Aufeinanderfolge des Austritts ausgeschlossen blieb. Der Druck der 1 m hohen Wassersäule reichte in keinem Falle aus, um die Luft aus sämmtlichen Gefässen zu entfernen.

Ob die hergestellten Luft-Wasser-Ketten sofort oder erst nach einiger Zeit herausgedrückt wurden, blieb ohne allen Einfluss auf die Widerstände.

In den Luftwurzeln von Philodendron-Arten gelang es mir überhaupt nicht Luft-Wasser-Ketten herzustellen, weil die Gefässe derselben in relativ kurzen Zwischenräumen Scheidewände führen. Für die Gefässe der Luftwurzeln von Philodendron erubescens war das von vornherein ausgeschlossen, da dessen leiterförmige Scheidewände durch zarte Membranen verschlossen sind, aber auch bei Philodendron grandifolium, wo die Schliesshäute der leiterförmigen Scheidewände meist aufgelöst sind, wollten die Luftblasen bei schwachem Druck nicht durch diese Scheidewände gehen.

Brachte ich über den mit Wasser angefüllten Aststücken eine Wassersäule von bestimmter Höhe an, so fielen Tropfen von der unteren Schnittfläche in bestimmten Zwischenräumen ab. Wiederholte ich mit demselben Aststück den Versuch, nachdem er Luft-Wasser-Ketten erhalten, so war die Zahl der in einer Zeiteinheit abfallenden Tropfen eine viel geringere. Es lässt sich annehmen, dass durch die mit Luft-Wasser-Ketten erfüllten Gefässe das Wasser langsamer floss, doch ist dies durch die betreffenden Versuche nicht streng erwiesen. Denn es wäre ja auch denkbar, dass nur die von Luft-Wasser-Ketten freien Gefässe das Wasser durchgelassen hatten und hierdurch der Ausfall in der abfliessenden Menge bedingt worden sei. Um vorwurfsfreie Ergebnisse zu erzielen, müsste man mit einem einzigen Gefäss experimentiren. Das lässt sich auch erreichen, wenn man alle anderen Gefässe in passender Weise verschliesst; doch pflegten sich alsdann bald für das eine offene Gefäss Störungen einzustellen, auch wenn der Versuch mit noch so reinem Wasser ausgeführt wurde. Es hätte jedenfalls viel Zeit und Geduld dazu gehört, um auf diesem Wege zum Ziele zu gelangen. Da meine Versuche stets mit der Vollzahl der in dem betreffenden Pflanzentheil vertretenen Gefässe angestellt wurden, so verzichte ich darauf, die einzelnen Werthe hier anzuführen. Bemerkt sei nur, dass dieselben übereinstimmend dahin ausfielen, dass eine Verlangsamung des Abflusses aus der unteren Schnittfläche nach Herstellung der Luft-Wasser-Ketten eintrat.

Ueber einen Versuch sei aber im Besonderen noch berichtet, der mit einem 31 cm langen Internodium von Aristolochia Sipho

ausgeführt wurde, welches als Glied in ein U-Rohr, ähnlich wie bei den Filtrations-Versuchen, Aufnahme fand. Dieses Internodium war mit der Wasserstrahlluftpumpe injicirt worden und hatte eine Nacht im ausgepumpten Wasser zugebracht. Als Glied in das U-Rohr eingeschaltet, mit Wasser auch über dem oberen Querschnitt bedeckt, wurde es einem Ueberdruck von 5,5 cm Wasser ausgesetzt. Der höhere Wasserstand befand sich innerhalb des nur vom Glasrohr gebildeten Schenkels des U-Rohrs. In 8 Minuten sank die Niveaudifferenz von 5,5 cm auf 0,7 cm. Der Ausgleich war durch das Aststück in der Richtung von unten nach oben erfolgt. Jetzt wurden umgekehrt der Ueberdruck von 5,5 cm auf der oberen Schnittfläche des Aststücks angebracht. In 8 Minuten sank das Wasser von 5,5 cm auf 0,6 cm Niveaudifferenz. Der Versuch wurde wiederholt mit abwechselnder Mehrbelastung der beiden Schenkel um 10 cm Wasser. Der Ausgleich von 10 auf 1 cm Niveaudifferenz erfolgte in beiden Richtungen innerhalb 8 Minuten. — Hierauf wurden Luft-Wasser-Ketten in den Gefässen hergestellt und der Glasschenkel des U-Rohrs um 10 cm Wasser stärker belastet. Die Niveaudifferenz veränderte sich in den ersten 8 Minuten nur um 0,8 cm, in den nächsten 8 Minuten um nochmals 0,8 cm, im Ganzen somit in 16 Minuten um 1,6 cm. Genau dieselben Werthe ergaben sich bei Umkehrung des Versuchs, das heisst bei Mehrbelastung der oberen Schnittfläche des Aststückes. Die dargestellten Luft-Wasser-Ketten hielten somit den Wasserdurchfluss in der geschilderten Weise auf. Das wirkliche Vorhandensein dieser Luft-Wasser-Ketten wurde hierauf durch Herauspressen der Luftblasen bei einem höheren Druck sichergestellt.

Welche Rolle die Luftblasen in den Wasserbahnen der Pflanzen spielen, geht aus diesen Versuchen wohl hinlänglich hervor. Dass unter natürlichen Verhältnissen schon eine sehr geringe Anzahl von Luftblasen ausreichen kann, um im Verein mit anderen Widerständen die Wasserfäden zu tragen, zeigt somit die directe Beobachtung. Namentlich in den primären Gefässen der Wurzeln, dann in Pflanzen, die wie Ficus-Arten auf relativ wenige Gefässe als Wasserbahnen angewiesen sind, fand ich die Luftblasen oft sehr weit von einander entfernt.

Ich bemerkte schon, dass die Structuren auf der Innenwandung der Leitungsbahnen wohl vielfach dazu dienen, die

Luftblasen in ihrer Lage zu erhalten. Dies lehrt besonders die Ausbildung tertiärer Verdickungsbänder. Dass die schraubigen Differenzirungen der Wand so bevorzugt werden, möchte ich mir daraus erklären, dass sie es sind, die besonders dem Wasser den Durchgang zwischen Luftblase und Wand, der Richtung des Schraubenbandes folgend, erleichtern müssen. Dass übrigens andere secundäre, und wenn auch selten andere tertiäre Verdickungsarten vorkommen, und dass Holzgewächse, die nur auf ihre Gefässe als Leitungsbahnen angewiesen sind, selbst mit glatten Gefässwänden auskommen, wurde schon früher hervorgehoben.

Aus den Versuchen zur Bestimmung der capillaren Steighöhe in den Gefässen ist uns bereits bekannt, dass das Wasser aus beiderseits geöffneten Gefässen ausfliesst, sobald dieselben über ihre capillare Tragkraft hinaus mit Wasser angefüllt werden. Demgemäss fanden wir auch, dass aus den gekochten oder injicirten Pflanzentheilen, von welchen alle Seitenglieder entfernt, bei welchen somit zahlreiche Gefässe geöffnet worden, zunächst Wasser, welches zum Theil sicher aus den so geöffneten Gefässen stammte, abfloss. Solche Gefässe mussten dann bei der Aufwärtsleitung des Wassers unbetheiligt bleiben, während andere abgeschlossene Gefässe diese Aufgabe vollzogen. Ich erinnere im Besonderen an das früher beschriebene Verhalten von Aststücken der Wistaria, die alsbald mit Hilfe ihrer engen Gefässe Eosin-Wasser bis zur oberen Schnittfläche geführt hatten, während die weiten, beiderseits offenen Gefässe sich ungefärbt und lufthaltig zeigten.

Die oft geschilderten Erscheinungen eines Ausfliessens von Wasser aus bestimmten tropischen Lianen, nach zweimaliger Durchschneidung derselben, konnte ich jetzt nach Belieben auch an Stammtheilen unserer Gewächse hervorrufen, soweit diese ausreichend weite Gefässe führten. Es genügte hierzu, den betreffenden Stammtheil mit Wasser zu injiciren und ihn dann aufzurichten. Selbstverständlich floss alsdann alles Wasser, das nicht capillar getragen werden konnte, aus den Gefässen heraus. Aus meterlangen Aststücken von Wistaria und Aristolochia waren auf solche Weise namhafte Wassermengen zu gewinnen. Aus frisch geschnittenen Aesten dieser Pflanzen habe ich nie Wasser ausfliessen sehen, wohl aber, wie schon Sachs [1]), aus Vitis-Aststücken,

1) Pflanzenphysiologie, p. 212.

doch nur zur Blutungszeit. — Gaudichaud [1]) war wohl der erste, der die Angabe machte, dass ein Cissus-Ast, von ihm als Cissus hydrophora bezeichnet, grosse Mengen von Saft aus Stammstücken liefere, die von dem Mutterstock getrennt werden. Auch giebt Gaudichaud bereits an, dass bei Durchschneidung des Stammes an nur einer Stelle, wenig oder überhaupt kein Saft ausfliesse. Wie ohne weiteres ersichtlich, wird das Ausfliessen des Saftes aus den Gefässen bei einmaligem Durchschneiden des Stammes durch den Luftdruck verhindert. — A. Poiteau [2]) schilderte dann eine Vitis von Dominica, wahrscheinlich Vitis indica, die einen armdicken, 30 bis 40 Fuss lang unverzweigten, dann erst mit Zweigen und Blättern versehenen Stamm besitze, und aus einem 4 Fuss langen Stammstücke in wenigen Secunden mehr als ein Glas Wasser ausfliessen lasse. Das Wasser fand Poiteau sehr klar und frisch, etwas säuerlich, im Geschmack angenehm. — Auf meine Bitte hatte mein College Schimper in gewohnter Gefälligkeit die Güte, eine grössere Anzahl von Versuchen für mich mit einer Cissus-Art im botanischen Garten zu Buitenzorg anzustellen. Er wurde hierbei von Dr. Treub in zuvorkommenster Weise unterstützt. Die Versuche fanden an den beiden letzten Tagen des Jahres 1889 statt. Ueber die Ergebnisse derselben erhielt ich von Prof. Schimper alsbald brieflich einen ausführlichen Bericht, welcher mir die erwünschte Antwort auf alle meine Fragen brachte. Die Versuche begannen den 30. December um $9^1/_4$ Uhr Morgens und dauerten bis gegen 11 Uhr. Die Temperatur betrug 28° C. Seit 8 Tagen herrschte trocknes und windiges Wetter. Am 31. December wurde mit den Versuchen bereits um $6^1/_4$ Uhr Morgens begonnen, etwa 20 Minuten nach Sonnenaufgang. Dichte Wolken deckten die Sonne, an dem Versuchsplatze herrschte tiefer Schatten. Zwei benachbarte Lianen dienten zu den Versuchen. Die Versuchsstücke wurden der einen am 30. December 13 bis 17 m hoch über dem Boden, am nächsten Tage bis dicht über dem Boden, der andern am 31. December bis 22 m hoch über dem Boden entnommen. Die weitesten Gefässe, die in

1) Ascension de la sève dans une Liane et description de cette nouvelle espèce de Cissus, Ann. d. sc. nat., Bot., II. sér., T. VI, 1836, p. 138.

2) Note sur la liane des voyageurs, Ann. d. sc. nat., Bot., II. sér., T. VII, 1837, p. 233.

den von Prof. Schimper mitgebrachten Stücken im Extrem 0,4 mm Durchmesser erreichten, doch vorwiegend hinter diesen Maassen zurückblieben, führten am ersten Versuchstage ausser Wasser ziemlich viel Luft. Am nächsten Tage, wo die Versuche gleich nach Sonnenaufgang begannen, zeigten sich auch diese weiten Gefässe fast luftfrei, so dass daraus folgt, dass die Gefässbahnen dieser Liane in Buitenzorg während der Nacht fast vollständig mit Wasser angefüllt sind, während des Tages aber Luftblasen sich in denselben einfinden. Aus den engeren Gefässen sah Prof. Schimper auch am ersten Tage keine Luft austreten. Die am ersten Tage in den grossen Gefässen vertretenen Luftblasen reichten nicht hin, um den Wasserausfluss zu verhindern, der sehr reichlich aus den von der Mutterpflanze getrennten Stammstücken erfolgte. Die Luftblasen wurden dabei durch den Druck der Wassersäule mit in Bewegung versetzt und nach aussen entleert. Solange die Stammstücke horizontal gehalten wurden, fand kein Wasserausfluss statt. Beim Kürzen der Versuchsstücke hörte am ersten Tage der Wasserausfluss bei Längen unter 20 cm, am zweiten Tage erst bei Längen von 11 bis 12 cm auf, was sich vollkommen aus dem verschiedenen Luftgehalt der Wasserbahnen an diesen beiden Tagen erklärt. Das Ausfliessen von Wasser aus meterlangen Stücken dauerte etwa eine Minute; hatte dasselbe aufgehört, so konnte das Abschneiden eines unteren Stückes ein weiteres Austreten geringer Wassermengen veranlassen. Es floss alsdann jedenfalls Wasser aus Gefässen aus, die sich mit Luft-Wasserketten von unten her verstopft hatten. Nachdem aller Ausfluss aus den unteren Enden des senkrecht gehaltenen Versuchsstückes aufgehört hatte, konnte, selbst bei 4 m langen Stücken, ein weiteres merkliches Austreten von Wasser durch Hineinblasen mit dem Munde in das obere Ende bewirkt werden. — Nachdem das selbständige Ausfliessen von Wasser aus dem einen, abwärts gehaltenen Ende aufgehört hatte, wurde ein weiterer Ausfluss von Wasser stets aus dem anderen Ende, nach Umkehrung des Versuchsstückes, veranlasst. So allein konnte alles selbständig aus dem Versuchsstücke ausfliessende Wasser gewonnen werden. Der Ausfluss dauerte aus jedem der beiden Enden je eine Minute. Die 1 m langen, 2 bis 2,5 cm dicken Stammstücke lieferten am frühen Morgen des 31. Decembers im Maximum 18 ccm, im Minimum 6 ccm Wasser. Aus dem dem oberen Theile der Liane

entnommenen Stücke floss das Wasser ebenso rasch, doch im Allgemeinen in geringeren Mengen aus. Letzteres war nicht durch eine geringere Füllung, sondern nur durch die geringere Zahl und etwas geringere Weite der Gefässe in den oberen Theilen des Stammes bedingt. — Alle Erscheinungen, wie sie hier eben für die tropische Cissus geschildert wurden, lassen sich, wie gesagt, auch bei unseren Lianen nach künstlichen Injectionen hervorrufen. Auch der zunächst vielleicht etwas auffällige Umstand, dass an einem herausgeschnittenen Stammstück von Cissus, nachdem der Ausfluss aus dem einen Ende aufhörte, ein solcher aus dem anderen Ende veranlasst werden kann, erklärt sich ungezwungen durch die Annahme, dass beim Durchschneiden der Pflanze Lufteinsaugungen in eine Anzahl von Gefässen sowohl an dem einen wie an dem anderen Ende erfolgten und so Luft-Wasser-Verschlüsse herstellen mussten. Auch zufällige Verstopfungen durch eingesogene Inhaltstheile der durchschnittenen Zellen dürften im Spiele sein, endlich auch Verschlüsse durch verengte Stellen und Scheidewände in den Gefässen, die capillar das Wasser festhielten und ein Nachrücken von Luft verhinderten, aber nach erfolgter Umkehrung dem Wasser den Durchgang nicht verwehrten. Bei den in Buitenzorg angestellten Versuchen war der Ausfluss aus dem zunächst oberen Ende des Versuchsstückes, wenn dasselbe hierauf abwärts gekehrt wurde, stets geringer als aus dem ursprünglich unteren Ende. Das Verhältniss der beiden Ausflussmengen stellte sich in den einzelnen Versuchen wie 5 zu 3, 4 zu 2, 5,5 zu 3, 10 zu 8, 11 zu 6, endlich nochmals 10 zu 8 ccm. Hierbei war es gleichgiltig, ob das morphologisch obere oder das morphologisch untere Ende des Stammstückes zunächst nach unten gehalten worden war. Am ersten Versuchstage, an welchem, wie angegeben, die Gefässe ziemlich viel Luft enthielten, und wo somit negative Luftspannung in den meisten Gefässen existirt haben musste, machte sich hingegen ein Unterschied im Verhalten der beiden Enden des Versuchsstückes dahin geltend, dass nur das obere Ende zunächst bluten wollte. Besonders starke Lufteinsaugungen an den durchschnittenen Stellen mochten da im Spiele gewesen sein und Luft-Wasser-Verstopfungen veranlasst haben. Dass aus der einmal durchschnittenen Liane auch im Buitenzorger Garten Wasser nicht ausfloss, zeigt, dass Luftblasen, Scheidewände und Luftdruck ausreichen, um

auch in den weiten Gefässen solcher Lianen das Wasser suspendirt zu halten. Es richtet sich darnach jedenfalls die Länge der Gefässe, damit zu lange Wassersäulen durch für Luft undurchlässige Scheidewände in entsprechende Stücke zerlegt werden. Dass die weiten Gefässe ganz vorwiegend Wasserbehälter sind, während engere Gefässe die Aufwärtsleitung besorgen, haben wir schon früher zu begründen gesucht.

Wir haben gesehen, dass beiderseits offene, ununterbrochene Haarröhrchen bildende Abschnitte pflanzlicher Wasserbahnen, sich der Hauptsache nach wie gut benetzbare Glascapillaren verhalten. Die Flüssigkeiten stiegen in denselben wie in Glascapillaren, nur ist die Steighöhe geringer, was an einer Beeinflussung des Meniscus durch die imbibirte Wandung zu liegen scheint. Uebereinstimmungen in anderer Richtung zwischen isolirten Abschnitten pflanzlicher Wasserbahnen und Glascapillaren ergaben sich auch beim Durchfluss von Flüssigkeit. Das musste mir nothwendiger Weise auffallen, da ich mich so vielfach des Alcohols zu meinen Versuchen bedient hatte. Derselbe floss wesentlich langsamer als Wasser durch die pflanzlichen Gefässe.

Die in derselben Zeit durch Capillarröhren strömenden Flüssigkeitsmengen sind dem Druck direct, den Längen der Capillarröhre umgekehrt proportional und verhalten sich wie die vierten Potenzen der Durchmesser der Röhren. Die Schnelligkeit des Ausflusses wächst rasch mit der Temperatur und ist für Wasser bei 45° C $2^1/_2$ Mal so gross als bei 5° C. Diese wechselt von einer Flüssigkeit zur andern, wobei die Dichtigkeit der Flüssigkeit, wenn überhaupt, von nur sehr geringem Einfluss ist. Der Umstand, dass das Wasser bei 4° C das Maximum seiner Dichtigkeit erreicht, stört in keiner Weise die regelmässige, durch das Sinken der Temperatur bedingte Abnahme in der Schnelligkeit des Ausflusses. Weiter giebt auch schon Poiseuille an [1]), dem ich diese Angaben entnehme, dass Alcohol langsamer

1) Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petits diamètres. Ann. de Chimie et de Physique, III. sér., 1843, T. VII, p. 50, und 1845, T. XIV, p. 76; auch Poggendorff's Annalen, Bd. 58, 1843, p. 424; weiter auch Mémoires présentés par divers savants etc., T. IX, 1846, p. 433.

durch Capillaren ausfliesst als destillirtes Wasser. Reiner Alcohol von 0,8001 sp. G. bei 10° C braucht 682 Minuten, um durch eine Capillare zu fliessen, welche von derselben Menge destillirten Wassers in 523 Minuten durchströmt wurde. Bei Wasserzusatz nimmt die Schnelligkeit des Durchflusses für den Alcohol ab, um bei fortgesetztem Wasserzusatz schliesslich wieder zu steigen. Nach Zusatz von 86,487 Gewichtstheilen Wasser zu 73,512 Gewichtstheilen Alcohol brauchte das Gemisch nicht 682, sondern 1732 Minuten für den Durchfluss. Das ist die höchste Zahl, welche die Tabelle aufweist; bei weiterem Wasserzusatz beginnt diese Zahl wieder zu sinken. — Aether, der weit dünnflüssiger als Wasser ist, fliesst ungefähr drei Mal schneller als Wasser durch Capillaren, während absoluter Alcohol, der ja auch dünnflüssiger als Wasser ist, dies langsamer thut. — Poiseuille kam auf Grund seiner Versuche an Glascapillaren schliesslich zu dem Ergebniss, dass weder die Dichtigkeit einer Flüssigkeit, noch ihre grössere oder geringere Dünnflüssigkeit, noch ihre capillaren Eigenschaften, noch die grössere oder geringere Löslichkeit der Substanz, die sie führt, noch die Verwandtschaft der Flüssigkeit zu Wasser, noch endlich die Contraction, welche das Wasser beim Vermischen mit dieser Flüssigkeit erfährt, einen entscheidenden Einfluss auf die Schnelligkeit des Ausflusses aus Capillaren hat [1]). — In derselben Zeiteinheit, unter sonst gleichen Bedingungen, fliesst dieselbe Quantität destillirten Wassers in 535,2, von Aether in 160, von Aether mit Wasser 10:100 in 773,3, von 80% Alcohol in 1184,5 Minuten durch. — Bei Anwendung von wasserfreiem Alcohol fand Rellstab [2]) das Verhältniss von Wasser zu demselben wie 808,1:1010,3. Der Aether stellte sich bei Vergleich der Volumina als die schnellste Flüssigkeit heraus. Für ein Volum Wasser bei 15° C 63,8, für Alcohol 77,4, für Aether 19,2 Minuten; bei 10° C für Wasser im Mittel 73,4, für Alcohol 86,2, für Aether 19,3 Minuten. Die Zahlen für Aether haben weiterhin Pribram und Handl auf 14,5 bei 10° C und 11,7 bei 30° C verbessert und nehmen an, dass das von Rellstab be-

1) Ann. de Chimie et de Physique, III. sér., T. XIV, 1845, p. 99.

2) Ueber Transpiration homologer Flüssigkeiten, Inaug.-Diss., Bonn 1868.

nutzte Präparat nicht vollkommen wasserfrei gewesen sei. Bemerkt sei, dass Pribram und Handl[1]) für einzelne homologe Reihen von Substanzen innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen die Durchflusszeit mit Zunahme der Moleculargewichte wachsen sahen, so zwar, dass mit zunehmendem Moleculargewichte auch die Zähigkeit proportional zunahm, doch liess sich das erhaltene Resultat nicht verallgemeinern.

Bei meinen Versuchen mit pflanzlichen Capillaren musste ich mich damit begnügen, zu constatiren, dass die Durchflusszeiten für verschiedene Flüssigkeiten auf ganz ähnliche Verhältnisse hinweisen, wie sie für Glascapillaren entwickelt wurden. Genaue Zahlen zu gewinnen war bei der wechselnden Beschaffenheit des Materials, das so viele secundäre Einflüsse zulässt, ausgeschlossen. Zu den Versuchen dienten ebenso zubereitete Aststücke, wie ich sie zuvor angewandt, vornehmlich durch längeres Brühen getödtetes, in Alcohol aufbewahrtes Material.

Ein einjähriges Internodialstück von Vitis labrusca, 6 mm dick, 20 cm lang, liess, mit Wasser gefüllt, bei 30 cm Wasserdruck auf die oberen Schnittfläche, von der unteren alle Secunden einen Tropfen fallen. Mit Alcohol angefüllt, unter 30 cm Alcoholdruck, einen Tropfen alle 2 Secunden. — Ein anderes gleich langes, doch zweijähriges und dem entsprechend stärkeres Internodialstück lieferte, unter gleichen Umständen, einen Wassertropfen alle 0,7 Secunden, einen Alcoholtropfen alle 1 Secunden, Terpentin alle 0,83 Secunden, Benzol alle 0,25 Secunden, Aether floss so rasch durch, dass die Tropfen nicht gezählt werden konnten; als der Druck auf eine 10 cm hohe Aethersäule herabgesetzt wurde, noch 2 Tropfen in jeder Secunde. Dem Aether liess ich von neuem Alcohol, bei 30 cm Alcoholdruck, folgen und erhielt für dessen Durchfluss genau dieselben Werthe wie zuvor. — Ein 20 cm langes, 8 cm dickes Aststück von Wistaria liess, injicirt, zunächst alle 7 Secunden einen Wassertropfen fallen, alle 20 Secunden einen Alcoholtropfen. Ein Hinderniss musste den Ausfluss verlangsamen, denn als das Versuchsstück umgekehrt und der Versuch erneuert wurde, kam ein Wassertropfen

1) Ueber die specifische Zähigkeit der Flüssigkeiten und ihre Beziehung zur chemischen Constitution, Sitzber. d. Wien. Akad. d. Wiss., Bd. LXXX, II. Abth., 1879, p. 35.

alle 2, ein Alcoholtropfen alle 4 Secunden. Nach nochmaliger Umkehrung veränderten sich die Durchflussmengen nicht: für Wasser alle 2, für Alcohol alle 4 Secunden, hierauf nochmals für Wasser alle 2,5 Secunden. Dasselbe Stück am nächsten Tage für Wasser wiederum alle 2, für Alcohol alle 4, für Terpentin alle 4, Benzol alle 0,83, Aether alle 0,5, hierauf nochmals Alcohol alle 2,5 Secunden. — Ein 20 cm langes, 10 cm dickes Internodialstück von Aristolochia Sipho liess bei gleicher Versuchsanstellung einen Wassertropfen fallen alle 1,5 Secunden, einen Alcoholtropfen alle 3, Terpentin alle 3, Benzin alle 0,7, Aether alle 0,35 Secunden.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich für die Durchflusszeit von Wasser und Alcohol durch pflanzliche Capillaren in den meisten Versuchen das annähernde Verhältniss von 1 zu 2, in einem Versuch von 0,7 zu 1. Dieses letzte Verhältniss kommt sehr nahe den von Rellstab für wasserfreien Alcohol gefundenen, das erstere aber würde sich an die von Poiseuille für 80% Alcohol gefundenen Zahlen unmittelbar anschliessen. Ebenso stimmt es sehr gut zu den Angaben der Physiker, dass der Aether in meinen Versuchen 3 bis 4 Mal so rasch wie das Wasser durchfloss. Für die anderen beiden Flüssigkeiten, die ich benutzte, fehlt es mir an Vergleichungspunkten. Aether war auch in meinen Versuchen die schnellste Flüssigkeit.

Durch ein 40 cm langes, 2,5 cm dickes Aststück von Aesculus Hippocastanum flossen in 10 Stunden bei ca. 10° C 230 g Wasser durch; durch ein anderes ebensolches Stück, das demselben Aste entnommen war, in gleicher Zeit 220 g. Das Wasser war in einem Behälter über der oberen Schnittfläche angebracht, der Wasserdruck sank während der Versuchsdauer von 120 auf 45 cm. Der Versuch fand Ende October statt, beide Aststücke waren sehr wasserreich. Hierauf wurde über dem ersten Aststück 120 cm 2% Zinkchloridlösung, über dem zweiten 120 cm 2% Kupfersulfatlösung angebracht. Durch beide Aststücke floss in 8 Stunden genau dieselbe Menge Salzlösung und zwar 250 g durch, wobei der Druck der Flüssigkeitssäule von 120 auf 40 cm sank. Beide Salzlösungen waren etwas rascher als Wasser durchgeflossen und zwar in so übereinstimmender Weise, dass sich dieses Ergebniss kaum einem blossen Zufall zuschreiben liess. Zu erwarten wäre freilich eher ein etwas langsameres Durchfliessen der Salzlösungen ge-

wesen [1]), doch ist zu berücksichtigen, dass die vorausgegangene Sättigung der Aststücke mit Wasser deren Leitungsfähigkeit erhöht haben musste.

An dieser Stelle wäre eventuell auch mit einigen Worten das Verhalten des Quecksilbers innerhalb der pflanzlichen Wasserbahnen zu berühren. Es fällt jedem Beobachter auf, der transpirirende Pflanzentheile unter Quecksilber durchschnitten hat, dass die durch negativen Druck eingesogenen Quecksilberfäden in den Gefässen suspendirt bleiben. Das Quecksilber haftet innerhalb dieser Elemente so fest, dass es selbst in zarten Querschnitten sich noch halten kann. Dieses Verhalten wird durch die starke Adhäsion des Quecksilbers an die nassen Gefässwände bedingt. Marangoni [2]) machte darauf aufmerksam, dass Flüssigkeitstropfen, die sich auf dem Quecksilber ausbreiten können, es nur sehr langsam thun. Ein auf der Oberfläche des Quecksilbers deponirtes kleines Stückchen nasses Papier lässt sich mit dem Munde nicht wegblasen. Hieraus ist nach Plateau [3]) der Schluss zu ziehen, dass das Quecksilber eine energische Viscosität der Oberfläche besitzt. — Mit dem Problem der Suspension des aufgesogenen Quecksilbers in den pflanzlichen Gefässen hat sich bereits v. Höhnel in erschöpfender Weise beschäftigt. Er findet [4]), dass auch aus einem Eichenzweig, der in geneigter Lage das Quecksilber 40 cm weit einsog, dieses Quecksilber trotz der weiten Gefässe nicht ausfliesst, wenn man den Zweig senkrecht stellt. Die Adhäsion des Quecksilbers an der feuchten Gefässwand ist so stark, dass der Zug der ganzen Quecksilbersäule nicht genügt, um sie zu überwinden. Die Länge der getragenen Quecksilbersäule ist dabei gleichgiltig, da diese Säule ihrer ganzen Länge nach an der Gefässwand adhärirt und von ihr getragen wird. Nicht gleichgiltig kann hingegen, über ein gewisses Maass hinaus, die Dicke sein. Sobald nämlich eine bestimmte Gefässweite und damit

1) Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, IV. Aufl., 1882, Bd. I, p. 389.

2) Sull' espansione delle goccie d'un liquido gallegiante sulla superfice di altro liquido, 1865.

3) l. c. Bd. II, 1873, p. 79.

4) Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 92.

auch eine bestimmte Dicke der eingeschlossenen Quecksilbersäule überschritten wird, muss der durch das Gewicht der Säule ausgeübte Zug die Adhäsion überwinden und das Quecksilber von der Gefässwand losreissen. Die hierdurch eingeleitete Bewegung der Quecksilbersäule innerhalb des Gefässes ist aber, wie die Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren überhaupt, nicht eine Verschiebung der Säule als Ganzes. Es gerathen vielmehr nur die in der Axe der Fäden gelegenen Theile in rasche Bewegung, breiten sich an dem unteren Ende der Säule aus, legen sich dort der Röhrenwand an, während oben sich die Wandschicht von der Röhrenwand ablösen und den inneren Theilen durch Cohäsion folgen muss. So kommt es, dass eine solche Bewegung nicht mit einer Reibung an der Wand verbunden ist und erklärt v. Höhnel hieraus auch die Möglichkeit einer Einsaugung des Quecksilbers in Gefässe bis zu so bedeutender Höhe, wie sie in manchen Beobachtungen vorliegt [1]). — Die Weite der pflanzlichen Gefässe überschreitet im Allgemeinen nicht diejenige Dicke der Quecksilbersäule, die durch Adhäsion an die nasse Gefässwandung getragen werden kann. Selbst aus den weitesten Gefässen von Wistaria, die ich Quecksilber hatte einsaugen lassen, floss dieses nicht aus und blieb auch im Lumen dieser Gefässe innerhalb mässig dünner Querschnitte, die ich durch die injicirten Theile ausführte, suspendirt. — Aus dem 20 cm langen, drei Internodien in sich fassenden Aststück von Wistaria, welches gekocht und in Alcohol aufbewahrt, vor dem Versuch aber mit Wasser injicirt worden war, liess sich Quecksilber erst durchpressen, als dessen Druck auf die obere Schnittfläche 6 cm erreichte. Mit dem Augenblick, wo aber unter diesem Druck der capillare Widerstand überwunden worden war, floss das Quecksilber solange durch, bis dass es auf dem oberen Querschnitt nur noch eine ca. 1 mm dicke Schicht bildete. Dasselbe Aststück hatte vor der Quecksilberinjection bei 40 cm Wasserdruck von dem unteren Querschnitt alle 3 Secunden einen Wassertropfen fallen lassen. Als nach der Quecksilberinjection das den oberen Querschnitt deckende Quecksilber entfernt und von neuem 40 cm Wasserdruck angebracht wurde, floss ein Wassertropfen nur alle 15 Secunden ab. Die grossen Gefässe waren eben mit Quecksilber verstopft und das Wasser musste

1) l. c. p. 90.

die engen benutzen, deren capillare Depression für Quecksilber durch 6 cm Quecksilberdruck nicht überwunden worden war und die daher wegbar für Wasser blieben. Ich führe hier diesen Versuch mit Wasser im Anschluss an den Quecksilberversuch an, weil ähnliche Combinationen bei späteren Experimenten verwerthet werden könnten um bestimmte Bahnen zu eliminiren. Die weitesten Gefässe dieses Aststückes von Wisiaria erreichten nicht 0,2 mm. — Bei Anwendung eines J-Rohres brauchte v. Höhnel[1]) 20 cm Quecksilberüberdruck, um durch eine Anzahl von Gefässen eines 13 cm langen Stammstückes von Ampelopsis das Quecksilber zu pressen. Der Quecksilberaustritt aus der oberen Schnittfläche hörte auch aus den weitesten Gefässen auf, als der Quecksilberüberdruck nur noch 8 cm Quecksilber betrug, das heisst, als der Quecksilberspiegel in dem längeren Rohrschenkel 8 cm höher als die obere Schnittfläche des Stammstückes stand. Es drang durch das weiteste Gefäss somit Quecksilber so lange durch, bis der Druck so klein wie der capillare Widerstand desselben wurde. — Bei einem 10 cm langen, zuvor gekochten Aststück von Ampelopsis, dessen weiteste Gefässe ich auf ca. 0,2 mm bestimmte, trat am J-Rohr, bei einem Ueberdruck von 30 cm Quecksilber, das Quecksilber aus einer grösseren Anzahl von Gefässen am oberen Querschnitt hervor. Der Austritt erfolgte ruckweise in Gestalt einzelner Perlen, die ich seitlich abfliessen liess. Dieses ruckweise sich Ablösen war dadurch bedingt, dass die Oberflächenspannung in grossen Perlen kleiner ist als in den kleinen Anfängen derselben. Das Quecksilber floss bei sinkendem Druck durch immer weniger Gefässe ab, und hörte auf, als der Ueberdruck in dem längeren Schenkel nur noch 9 cm betrug. Das von mir erhaltene Resultat deckt sich somit vollständig mit demjenigen von v. Höhnel. Als ich nunmehr die obere Schnittfläche des Aststückes mit Quecksilber deckte und somit die Depression der Quecksilberkuppen an den Gefässenden aufhob, begann wieder das Quecksilber zu sinken. Dieses Sinken erfolgte nur sehr langsam. Nach 5 Stunden stand im langen Rohrschenkel der Quecksilberspiegel noch 1 cm über dem Quecksilberspiegel auf dem Object; 12 Stunden später, als das Resultat nochmals notirt wurde, zeigten sich die beiden

1) l. c. p. 93.

Quecksilberspiegel äquilibrirt. Ein anderes, 8 cm langes Aststück von Ampelopsis, auf dessen oberem Querschnitt 20 cm Quecksilberdruck angebracht wurde, liess dieses Quecksilber zunächst durch eine grosse Anzahl von Gefässen, schliesslich durch 3 besonders weite Gefässe fliessen. Der untere Querschnitt wurde in diesem Versuche frei gehalten. Der Ausfluss aus demselben hörte auf, als das Quecksilber noch 2 cm hoch auf der oberen Schnittfläche stand. Als hierauf das untere Ende in Quecksilber getaucht wurde, fiel die obere Quecksilbersäule in einigen Stunden auf ca. 1 mm und veränderte weiterhin nicht ihren Stand.

Wasseraufnahme und Blutungserscheinungen.

Mit dem Ausfluss von Wasser aus beiderseits offenen, mit Wasser erfüllten Gefässen ist die Erscheinung nicht zu vergleichen, welche sich einstellt, wenn wasserreiche Pflanzentheile im Winter in einen wärmeren Raum gebracht werden. Wie Hofmeister zuerst zeigte [1]), ist es die Ausdehnung der Luftblasen durch die Wärme, welche hier einen Austritt von Wasser veranlasst. Wie Sachs angiebt [2]), „wurden im Winter abgeschnittene, cylindrische, an beiden Querflächen glattgemachte Ast- oder Stammstücke von Abies excelsa, Rhamnus Frangula, Corylus Avellana, Betula alba, Quercus Robur, Fagus silvatica, wenn man sie abwechselnd in kaltes (0—5° C) oder warmes (25—40° C) Wasser legte und darin jedesmal eine viertel oder eine bis mehrere Stunden verweilen liess, abwechselnd schwerer oder leichter; ersteres in kaltem, letzteres in warmem Wasser. Tauchte man die Holzstücke in warmes Wasser so tief, dass nur ein kurzes oberes Ende in die Luft ragte, so trat zuerst aus dem äusseren Jahresringe, dann aus dem nächst inneren und so fortschreitend nach innen Wasser hervor, während gleichzeitig kleine Luftblasen, zumal aus den Gefässen, lebhaft, selbst mit Geräusch entwichen; wurde dasselbe Holzstück vorsichtig ebenso in kaltes Wasser getaucht, so sank das

1) Ueber Spannung, Ausflussmenge und Ausflussgeschwindigkeit von Säften lebender Pflanzen, Flora, 1862, p. 105.

2) Ueber die Porosität des Holzes, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. II, p. 318.

auf dem oberen Querschnitt befindliche Wasser wieder in derselben Reihenfolge in das Holz zurück, bis die Oberfläche trocken aussah. Wurde die Rinde eines solchen Holzcylinders mit einem warmen Tuch umwickelt, so quoll das Wasser aus der nach unten gekehrten Querschnittfläche hervor, gleichgiltig, ob diese dem basalen oder dem Gipfelende angehörte; wurde das Holz darauf wieder in kalter Luft abgekühlt, so zog sich der an dem Querschnitt hängende grosse Wassertropfen wieder in das Holz, bis es trocken war; dieses Aus- und Eintreten lässt sich leicht beobachten und dauert nur wenige Minuten." „Die wiederholten Wägungen des bald in kaltem, bald in warmem Wasser liegenden Holzes ergaben „nach Sachs [1])" ausserdem, dass bei jeder Abkühlung etwas mehr Wasser aufgenommen, als bei der vorhergehenden Erwärmung ausgestossen wurde, so dass das Holz im Verlauf des Versuches immer wasserreicher wurde." Diese Erfahrung liess Sachs [2]) hoffen, „es werde dieses durch lange Zeit fortgesetzte Verfahren endlich dahin führen, alle Luft aus dem Holze zu entfernen und alle Hohlräume der Zellen ganz mit Wasser zu füllen; es fand sich aber, dass selbst abwechselndes langes Kochen und dann Versenken des heissen Holzes in Wasser von 0° C nicht ganz zum Ziele führte".

Wie Hofmeister, schliesst auch Sachs aus diesen seinen instructiven Versuchen, dass die rasche Ausstossung und Einsaugung von Wasser durch Temperaturerhöhung und -Erniedrigung, den Ausdehnungen und Zusammenziehungen der wasserdampfhaltigen Luftblasen in den Holzzellen zuzuschreiben sei.

Es ist klar, dass die Sachs'schen Versuche von dem Augenblicke an erst gelingen, wo die Bahnen des Holzkörpers so reich an Wasser sind, dass eine Ausdehnung der vorhandenen Luftblasen eine Ausstossung desselben zur Folge haben muss. Dass auch durch fortgesetztes starkes Erwärmen und Abkühlen in Wasser nicht alle Luft ausgetrieben werden kann, hängt mit dem Widerstand zusammen, welchen die Hoftüpfel dem Durchgang von Luft entgegensetzen.

Von besonderem Interesse werden aber diese in gesättigten Wasserbahnen durch Erweiterung und Zusammenziehung der Luftblasen hervorzurufenden Erscheinungen dadurch, dass sie,

---

1) Ebendas. p. 318.
2) l. c. p. 320.

meiner Ansicht nach, den Schlüssel für die Erklärung der Vorgänge der Blutung im Frühjahr geben. Dasselbe nämlich, was sich mit den im Winter geschnittenen Stammtheilen, wenn die Bahnen derselben mit Wasser gesättigt sind, künstlich erzielen lässt, muss auch im Freien bei stärkerem Temperaturwechsel eintreten. Bei sinkender Temperatur ziehen sich die Luftblasen in den Wasserbahnen zusammen und schaffen dadurch Platz für neu aus den Wurzeln nachrückendes Wasser. Bei steigender Temperatur erweitern sich die Luftblasen und drängen das Wasser durch die Membranen in die umgebenden Gewebe. Das mögen Holzfasern oder sonst unthätige Tracheïden in den einen, ältere nicht mehr functionirende Holztheile und schliesslich gar Kernholz in den andern Fällen sein. Unthätige Holztheile dürften diesem Vorgang vielfach ihren Wassergehalt verdanken. Dass bei jeder neuen Zusammenziehung der Luftblasen das Wasser von unten her nachrückt, und nicht dem umgebenden Gewebe wieder entzogen wird, lässt sich sicher annehmen. Denn auch gekochte Zweige, deren Holzkörper vollständig mit Wasser gesättigt ist, nehmen, um ihre Wasserbahnen nach Bedarf zu füllen, Farbstofflösung von unten her mit dem Querschnitt auf. So kommt es denn, dass der Wassergehalt des Holzkörpers unserer Bäume, soweit anhaltender Kahlfrost nicht störend eingreift, dauernd im Laufe des Winters zunimmt.

Während unter solchem Einfluss die thätigen Wasserbahnen sich mit Wasser vollständig anfüllen, kommt jedenfalls schon während des Winters, vornehmlich aber bei steigender Temperatur im Frühjahr, noch ein anderer Vorgang hinzu, durch welchen ein Hineinpressen von Wasser aus der Umgebung in die Wasserbahn bedingt wird. Die lebendigen parenchymatischen Elemente, welche den trachealen Bahnen anliegen, füllen sich nämlich während des Winters mit osmotisch wirksamen Inhaltsstoffen an, die eine starke Saugung auf die Umgebung ausüben und zu einer Filtration des Zellsaftes unter Druck, in Richtung geringster Widerstände schliesslich führen müssen. Den geringsten Widerstand bieten der Filtration die Schliesshäute, welche diese lebendigen Zellen mit den trachealen Bahnen verbinden, daher der Zellsaft in die trachealen Bahnen gepresst wird. Das Wasser saugen die osmotisch wirksamen Elemente jedenfalls aus der ganzen Umgebung, nicht allein aus den

trachealen Bahnen auf, in letztere allein pressen sie aber ihren Inhalt hinein. Hierdurch wird der hydrostatische Druck in den trachealen Bahnen noch vermehrt und äussert sich im Frühjahr in höchster Potenz als Blutungsdruck. Der Filtration in die trachealen Bahnen hinein wirkt entgegen der in denselben herrschende hydrostatische Druck, daher nothwendiger Weise die Herabsetzung dieses Druckes durch Anbringung von Bohrlöchern oder von Schnittwunden die Filtration aus den umgebenden Parenchymen steigern muss. Der Blutungsdruck wird schwächer werden in dem Maasse, als der Wassergehalt der an das blutende Parenchym angrenzenden Gewebe sinkt, da dieses Parenchym schliesslich doch nur noch so viel Flüssigkeit in die trachealen Bahnen pressen könnte, als es denselben zuvor entnahm. Ausserdem sinkt aber auch der Gehalt an osmotisch wirksamen Stoffen in dem betreffenden Parenchym und damit nimmt auch dessen Wirksamkeit ab.

Schlecht vernarbte Wunden oder sonstige Orte geringeren Widerstandes wirken oft wie Bohrlöcher oder wie Schnitte, wenn sie dem in den Wasserbahnen herrschenden Druck nicht zu widerstehen vermögen. So sieht man beispielsweise Weissbuchen im Frühjahr oft so stark aus alten Wunden bluten, dass ein grosser Theil des Stammes dadurch benetzt wird.

Den Erguss von Blutungssaft aus frischen Wundflächen hat Th. Hartig [1]) bei Fagus, Carpinus, Betula, Juglans, Acer, Cornus, Virgilia lutea und Vitis, Clark [2]) ausserdem noch bei Ostrya beobachtet. Bei Pyrus, Prunus, Robinia, Alnus, Castanea, Salix, Populus, Abies und Larix konnte Th. Hartig nicht selten ein auffallendes Nasswerden der Hiebflächen an Stöcken und Asttheilen beobachten. Bei der Kiefer, Fichte, Eiche, Esche, Linde, Rosskastanie war hingegen eine solche Erscheinung nicht festzustellen.

Sehr häufig ist bei krautigen Pflanzen die Ausscheidung liquiden Wassers auch aus fertigen Blättern ausgebildeter

---

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1858, p. 334, und Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen, 1878, p. 348.

2) The circulation of sap in plants. A lecture delivered before the Massachussets State board of agriculture at Fitchburg, Boston 1874. Auszug in Flora 1875, p. 507.

Sprosse. Sie ist so häufig, dass sie als ganz allgemein verbreitet gelten kann [1]). Sie zeigt sich in der Regel an Blattspitzen und Blattzähnen und an die meist dort angebrachten Wasserspalten gebunden, steht stets in unverkennbarer Beziehung zu den trachealen Bahnen und ermöglicht bei sinkender Transpiration die Herabsetzung des hydrostatischen Druckes in denselben. In den meisten Fällen lässt sich der Blutungsdruck bei den krautartigen Pflanzen auf die Wurzel zurückführen. Dass auch ältere Theile der Wurzeln dabei betheiligt sind, dürfte aus den Angaben von C. Kraus [2]) hervorgehen. Derselbe steckte ältere Wurzelstücke von Asparagus, Iris, Helianthus, nachdem er ihnen die jungen Theile und sämmtliche Nebenwurzeln genommen hatte, in feuchten Sand und sah nach einiger Zeit Wassertropfen aus den Querschnitten der Wurzeln hervortreten. Andererzeits zeigte Sachs [3]), dass auch abgeschnittene junge Halmstücke verschiedener Gräser, mit dem basalen Ende in nassen Sand gesteckt und vor Verdunstung geschützt, Wassertropfen hervortreten lassen. C. Kraus [4]) erklärt dies für eine häufige Erscheinung und führt unter anderem abgeschnittene Gipfel von Brassica-Sprossen an, die Tage lang aus den Rändern der jüngsten Blätter geblutet hätten.

Die Ausscheidung tropfbar flüssigen Wassers aus den entwickelten Blättern von Bäumen kommt hingegen nur selten vor, wohl am häufigsten bei Weiden. So beobachtete beispielsweise Pitra [5]) an einem ca. 10 m hohen Weidenbaum, der dicht

---

1) Vergl. G. Volkens, Ueber Wasserausscheidungen in liquider Form aus den Blättern höherer Pflanzen, Jahrb. d. Kgl. bot. Gartens zu Berlin 1883, Bd. II, p. 186. Die ältere Litteratur über Wasserausscheidungen an Pflanzenblättern bei Burgerstein, Materialien zu einer Monographie betreffend die Erscheinungen der Transpiration bei Pflanzen, Verhandl. d. k. k. zool.-bot. Gesell. in Wien, 1887, Bd. XXXVII, p. 691.

2) Die Luftleitung der Wurzeln, besonders ihrer jungen Theile, Forschungen aus dem Gebiete der Agriculturphysik, herausgegeben von Wollny, Bd. V, 1882, p. 448 ff.

3) Vorl. über Pflanzen-Physiologie, II. Aufl., p. 255.

4) Ueber Blutung aus parenchymatischen Geweben, Bot. Centralbl. 1885, Bd. XXI, p. 217. Vergl. auch die zahlreichen Angaben in den Untersuchungen über den Säftedruck der Pflanzen, Flora 1881, p. 49 ff.

5) Versuche über die Druckkraft der Stammorgane bei den

am Ufer eines Teiches stand, mehrere Abende hinter einander im Frühsommer reichlichen Tropfenfall von den Blättern, während am folgenden Tage diese Erscheinung unterblieb.

Dass an abgeschnittenen Stammtheilen der Holzgewächse Blutungserscheinungen beobachtet werden können, ist aus den Versuchen von Baranetzki [1]), Pitra [2]) und von C. Kraus [3]) hinlänglich bekannt. Während bei krautartigen Pflanzen die Blutungserscheinungen vornehmlich auf Filtrationsvorgänge unter Druck innerhalb der Wurzelorgane zurückzuführen sind, fand Pitra unter 23 untersuchten Species von Holzgewächsen nur eine, bei welcher allein die Wurzel, nicht aber der Stamm blutete. Bei sieben Arten war der Blutungsdruck je nach Umständen entweder im Stamme oder in der Wurzel ansehnlicher, bei acht Arten war weder für Stamm noch Wurzel Blutung nachzuweisen.

C. Kraus giebt an, dass Aststücke mit blosgelegten Tangentialflächen, die er in nassen Sand steckte, aus diesen, und zwar zum Theil dort deutlich, auch aus den Markstrahlen bluteten [4]).

Wurzeldruck und Stengel- oder Stammdruck haben dieselbe Ursache und sind daher mit Recht von Pfeffer [5]) unter der Bezeichnung des Blutungsdruckes zusammengefasst worden.

Der Blutungsdruck kann bekanntlich bei Holzgewächsen im Frühjahr sehr bedeutende Höhe erreichen. Clark [6]) will bei Betula lenta einen Blutungsdruck beobachtet haben, der einer Wassersäule von 84,77 Fuss Höhe entsprach. Dieselbe

---

Erscheinungen des Blutens und Thränens der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XI, p. 448.

1) Untersuchungen über die Periodicität des Blutens der krautartigen Pflanzen und deren Ursachen, Arb. d. naturf. Gesell. zu Halle, Bd. XIII, 1873, p. 53.

2) Versuch über die Druckkraft der Stammorgane bei den Erscheinungen des Blutens und Thränens der Pflanzen, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XI, 1878, p. 437.

3) Vergl. besonders: „Der Blutungsdruck der Wurzel verglichen mit dem des Stammes“, in den Forschungen auf dem Gebiete der Agricultur-Physik, herausgegeben von Wollny, Bd. VIII, 1885, p. 33.

4) l. c. p. 35.

5) Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 154.

6) l. c. p. 189, auch Flora 1875, p. 511.

Betula lenta war nach Clark so vollständig mit Saft angefüllt, dass letzterer innerhalb des Stammes einen ähnlichen allseitigen hydrostatischen Druck ausübte, wie in einem weiten Rohre. Jedes unten in den Stamm gebohrte Loch sollte ein Sinken höher angebrachter Manometer veranlassen, der Verschluss eines solchen Bohrloches die Manometer wieder auf den früheren Stand bringen. Die Clark'schen Angaben sind freilich, wie schon Pfeffer [1]) bemerkt, mit einiger Reserve aufzunehmen, weil er auch einen Blutungsdruck angiebt, wie ihn sonst Niemand ausser ihm verzeichnet hat, doch beobachtete auch Th. Hartig [2]), dass von zwei an einer blutenden Birke in bedeutender Entfernung von einander angebrachten Manometern das Quecksilber des einen bei hohem Druck stets auf den Nullpunkt sank, wenn das andere dem Baum entnommen wurde. Das eine Manometer befand sich 8 Fuss hoch an einem Aste, der 2 Fuss hoch über dem Boden vom Stamm abging. Das zweite Manometer war hingegen am Stamm 1 Fuss hoch über der Insertionsstelle dieses Astes eingesetzt. Solche Erscheinungen können sich nur bei vollständigem Luftmangel einstellen, wenn die Suspension durch Luftblasen innerhalb continuirlicher Bahnen ganz wegfällt. Das gewöhnliche Verhalten ist hingegen, dass selbst nahe gelegene Stellen eines Stammes in ihren durch Manometer angezeigten Druckverhältnissen sich von einander unabhängig erweisen. Meist gilt dies auch für blutende Stämme. So berichtet Th. Hartig [3]) über Fälle, wo Manometer, an gegenüberstehenden Seiten solcher Stämme so angebracht, dass die Enden der Bohrlöcher nur um wenige Zoll auseinander lagen, auf der einen Seite bedeutenden Ueberdruck, auf der anderen Minderdruck angaben. Ebenso beobachtete Horvath [4]), dass von zwei an einem Weinstock an verschiedenen Aesten, doch nur in 70 cm Entfernung von einander angebrachten Manometern das eine längere Zeit einen positiven Druck von 46 cm, das andere einen negativen von 20 cm Quecksilber zeigte.

---

1) Pflanzenphysiologie, I, p. 161.

2) l. c. Bot. Ztg. 1863, p. 281.

3) Luft-, Boden- und Pflanzenkunde in ihrer Anwendung auf Forstwissenschaft und Gartenbau, 1877, p. 268.

4) Beiträge zur Lehre über die Wurzelkraft, Strassburg 1877, p. 51.

Nach Th. Hartig[1]) findet das Bluten bei Hainbuchen, Rothbuchen, Birken, Ahornen, Wallnussbäumen vom späten Abend bis über die Mittagszeit hinaus statt, von da ab bis zum Abend konnte der Blutungsdruck sich in Saugung verwandeln. So auch bluteten zwei von Detmer[2]) untersuchte Birken nur in der Nacht und am Morgen. Da die Verdunstung auch aus unbelaubten Zweigen eine nahmhafte ist[3]), so erklärt sich dieser Wechsel in der Erscheinung ungezwungen. Des Tags über leerte die Verdunstung die trachealen Bahnen so weit, dass negative Luftspannungen sich in einzelnen Abschnitten derselben einstellen konnten. Bei herabgesetzter Transpiration während der Nacht wurde von neuem eine Ueberfüllung der Wasserbahnen möglich. Sinkende Temperatur vermochte durch Zusammenziehung der Luftblasen in den Leitungsbahnen unter Umständen rasch den Blutungsdruck herabzusetzen, ja denselben in Saugung zu verwandeln. Das beobachtete Th. Hartig beispielsweise nach Hagelwettern, welche die Luft plötzlich abkühlten. Vorübergehend ging dann die Blutung in Saugung über.

Uebereinstimmenden Angaben nach pflanzt sich im Frühjahr das Bluten aufwärts fort. Mit steigender Transpiration der sich entfaltenden Knospentheile erlischt das Bluten zunächst meist in den oberen Bohrlöchern. Bei weiterem Anwachsen der Transpiration sinkt der Blutungsdruck und schwindet schliesslich vollständig[4]).

Das schon 1853 von Th. Hartig[5]) beobachtete Hervortreten von Tropfen an den noch geschlossenen Knospen der Hainbuche hatte auch ich Gelegenheit während des letzten Frühjahrs (1890) an mehreren Hainbuchen unseres botanischen Gartens zu sehen. Ich habe eben mit Absicht nicht „aus“ den Knospen, sondern

---

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1862, p. 86, und 1863, p. 277.

2) Beiträge zur Theorie des Wurzeldruckes, Sammlung physiologischer Abhandlungen, herausgegeben von Preyer, Erste Reihe, Heft VIII, Jena 1877, p. 30.

3) Wie schon Th. Hartig feststellte. Vergl. dessen „Verdunstung der Zweigspitzen im unbelaubten Zustande“, Bot. Ztg. 1863, p. 261.

4) Die Litteratur hierzu vergl. bei Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, Bd. I, p. 160 ff.

5) Freiwilliges Bluten der Hainbuche, Bot. Ztg., 1853, Sp. 478.

„an“ den Knospen geschrieben, denn thatsächlich kommen die Thränen nicht, wie es Th. Hartig [1]) angiebt, zwischen den noch geschlossenen Knospenschuppen hervor, vielmehr aus der Narbe der Tragblätter, in deren Achseln diese Knospen entstanden. Durch den starken inneren Wasserdruck wird die Korkschicht abgesprengt, welche diese Narbe deckt, und unter dieser treten die Tropfen hervor. Man findet sie am Morgen; sie schwinden im Laufe des Vormittags und bilden sich wieder in der folgenden Nacht. Ich beobachtete das Thränen zum ersten Mal am 1. März und konnte die Erscheinung etwa 8 Tage lang verfolgen. Sie hörte mit Entfaltung der Knospen auf. — Interessant ist die Angabe von Th. Hartig [2]), dass er dieses Thränen bei der Hainbuche einmal bei noch gefrorenem Boden beobachtet habe, „daher“, wie Hartig angiebt, „von einer Wurzelthätigkeit dabei nicht die Rede sein konnte“. — Ausser der Hainbuche werden als aus den Knospen thränende Bäume auch Schwarzpappel, Eiche, Hartriegel, Weissdorn, Rose, Wildapfel, und als weniger reichlich thränend, auch Pfaffenhütchen, Schlehdorn, Esche, Ahorn, Linde, Haselnuss und Birke angeführt [3]). Bei einigen Bäumen der Tropen sollen die Tropfen von den Zweigenden vor der Knospenentfaltung fast regenartig niederfallen, so bei Caesalpinia pluviosa [4]). Bei Calliandra Saman, einer Leguminose, wird nach Ernst [5]) zur Zeit der Entwicklung der jungen Blätter in Caracas unter dem Baum ein feiner Sprühregen beobachtet, der den Boden deutlich feucht macht und selbst bei trocknem Wetter nicht aufhört. Die Erscheinung nahm mit fortschreitender Entwicklung der Blätter ab und hörte auf, als diese vollzogen war.

Bei krautartigen Gewächsen mit wenig umfangreichen Wasserbahnen, die bei herabgesetzter Transpiration alsbald angefüllt sind, stellen sich Blutungserscheinungen auf jedem Entwicklungszustande leicht ein. Bei angefüllter Wasserbahn muss ja jedes weitere active Hineinpressen von Wasser in dieselben Blutung

---

1) Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen, 1878, p. 347.

2) Anat. u. Phys., p. 347.

3) Ueber das Thränen der Holzpflanzen, Bot. Ztg., 1862, p. 85.

4) Nach Beobachtung des Pater Leandro, mitgetheilt von de Candolle, Pflanzenphysiologie, übers. von Röper, p. 225.

5) Botanische Miscellaneen, Bot. Ztg., 1876, Sp. 35.

veranlassen. So fand v. Höhnel[1]) bei blutenden Gräsern, an welchen des Morgens Wassertropfen den Blattspitzen anhängen, die Gefässe um die gleiche Zeit ganz mit Wasser injicirt. Um 2 Uhr desselben Tages herrschte hingegen schon wieder negativer Druck in den Gefässen, und ein Durchschneiden derselben unter Quecksilber hatte ein Einsaugen desselben um mehrere Centimeter in vielen Gefässen zur Folge. Junge, 6—8 cm hohe Maispflänzchen, die in trocknem Boden standen und bei der Untersuchung erheblichen negativen Gefässluftdruck aufwiesen, konnten, begossen und mit feuchten Glasglocken bedeckt, alsbald zur Ausscheidung von Wassertropfen an den Blattspitzen veranlasst werden[2]). Zahlreiche ähnliche Angaben über Tropfenbildung aus Blättern krautartiger Pflanzen bei herabgesetzter Transpiration unter Glasglocken, und angeregter Wasseraufnahme durch Erwärmung des Bodens, rühren von Sachs[3]) her.

Aus den Blättern abgeschnittener Sprosse von Fuchsia globosa hatte de Bary[4]), aus ebensolchen Sprossen verschiedener Pflanzen alsdann Moll[5]), Tropfenausscheidungen dadurch erzielt, dass sie in den Querschnitt dieser Sprosse Wasser unter Druck einpressten. Der Druck betrug in den Moll'schen Versuchen im Mittel 20 cm Quecksilber. Es fand in den Moll'schen Versuchen entweder nur Tropfenausscheidung an den Blättern, und zwar vorwiegend an den Zähnen derselben, oder zugleich auch Injection der Intercellularen, oder endlich nur der letzteren statt. Zur Injection der Intercellularen neigten ältere Blätter unter sonst gleichen Umständen vielfach mehr als jüngere. Die injicirten Blätter kehrten, nachdem die Zweige mit der Schnittfläche in Wasser gestellt worden waren, bald wieder zu der normalen Beschaffenheit zurück.

Auch bei krautartigen Pflanzen kamen ähnliche Erscheinungen, wie sie zuvor für Bäume angegeben wurden, zur Be-

1) Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 103.

2) l. c. p. 104.

3) Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen, p. 237.

4) Bot. Ztg., 1869, Sp. 883, Anm. Vergl. auch Prantl, Die Ergebnisse der neueren Untersuchungen über die Spaltöffnungen, Flora 1872, p. 382.

5) Ueber Tropfenausscheidung und Injection bei Blättern, Bot. Ztg., 1880, Sp. 49.

obachtung. So giebt Horvath[1]) an, dass die Flüssigkeit in einem dem Stengel von Helianthus annuus aufgesetzten Rohre gleich zu sinken anfing, als eine 2 mm dicke Wurzel abgeschnitten wurde. Aus dieser tropfte gleichzeitig Flüssigkeit ab. Dasselbe habe er bei Datura Tatula beobachtet. Bei solchen krautartigen Pflanzen kann aber eine directe Continuität der Wasserbahnen der durchschnittenen Bahnen angenommen werden, nicht der Druck einer den ganzen Holzkörper ausfüllenden Wassersäule.

Es lag nahe anzunehmen, dass der Blutungsdruck, der sich im Frühjahr einstellt, die Knospenentwicklung fördere. So presste schon Boehm[2]) Wasser unter Quecksilberdruck in Zweige mit noch geschlossenen Knospen ein und fand, dass diese Knospen sich früher entwickelten als solche von Zweigen, die einfach im Wasser standen. So auch brachte Sachs[3]) Zweige von Weinstock und Rosskastanie im Februar und März in Wasser unter 15 bis 20 cm Quecksilberdruck und constatirte ebenfalls, dass solche Zweige nach 4 bis 6 Wochen ihre Knospen kräftig und wie an der Mutterpflanze öffneten, während die Knospen einfach daneben in Wasser gestellter Zweige sich um 4 bis 8 Tage später und schwächlicher entfalteten. Die Einpressung von Wasser in die Zweige hatte somit die Entfaltung der Knospen begünstigt. Aehnlich äussert sich auch Horvath[4]). Dutrochet[5]) hatte andererseits früher behauptet, dass abgeschnittene Zweige mit geschlossenen Knospen, die in Wasser stehen, überhaupt ihre Knospen unentwickelt behalten, solange als ihr untergetauchtes Ende keine Wurzeln erzeugt hat. Erst nach Anlage der Wurzeln sei der impulsive Auftrieb des Saftes in die Knospen möglich, der ihre Entfaltung anrege. — In dieser allgemeinen Fassung treffen die Angaben von Dutrochet nicht

1) Beiträge zur Lehre über die Wurzelkraft, Strassburg 1877, p. 44.

2) Ueber die Ursache des Saftsteigens in den Pflanzen, Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss. Math.-naturw. Cl., 1863, Bd. XLVIII, I. Abth., p. 12.

3) Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen, p. 242.

4) Beiträge zur Lehre über die Wurzelkraft, Strassburg 1877, p. 23.

5) Mémoires, 1837, Progression de la sève, p. 214.

zu, wie das ja das sehr lange geübte Verfahren des Frühtreibens lehrt. Ob bei den zum Frühtreiben besonders benutzten Pflanzen das Einpressen des Wassers die Knospenentwicklung fördern würde, suchte ich durch einige Versuche festzustellen. Ich experimentirte gleichzeitig mit einer grösseren Anzahl von Zweigen die ich luftdicht mit Gummipfropfen in Pulvergläser einsetzte. Die Pulvergläser waren mit Wasser ganz angefüllt, und eine dauernde Zufuhr von Wasser dadurch gesichert, dass sie mit einem Wasserbehälter in Verbindung standen. Zu diesem Zwecke führte aus jedem Pulverglas durch den Gummipfropfen ein Glasrohr nach aussen, das mit einem andern horizontalen starken Rohr communicirte, das seinerseits durch Gummischlauch mit einem 5 m höher befindlichen, mit Wasser angefüllten Gefäss verbunden war. Zwischen dem horizontalen Rohr und den Einzelgefässen konnte ich durch Klemmen die Verbindung nach Wunsch unterbrechen. Die von mir zu den Versuchen gewählten Pflanzen waren Syringa vulgaris, Kerria japonica, Cydonia japonica und Viburnum Opulus. In der gärtnerischen Litteratur fand ich die Angabe, dass die zum Frühtreiben bestimmten Zweige sich besser halten, wenn sie nicht abgeschnitten, sondern an ihrer Ansatzstelle ausgebrochen werden. Das konnte sehr wohl sein, denn der Schnitt öffnet jedenfalls weit mehr Elemente als das Ausbrechen, und können daher die abgeschnittenen Zweige durch Verstopfung der geöffneten Elemente auch wohl früher leiden. Da andererseits das Oeffnen der Elemente durch den Schnitt die Wasseraufnahme erleichtert, so wollte ich mich auch nicht auf die ausgebrochenen Zweige beschränken und suchte ein baldiges Verstopfen der geöffneten Elemente dadurch zu verhindern, dass ich nach sorgfältiger Reinigung der untern Zweigenden die Schnittfläche hierauf mit sterilisirter Glaswatte verband. Von jeder Art kamen sechs annähernd gleich starke Zweige zur Verwendung, von denen je drei ausgebrochen, je drei abgeschnitten wurden, und von welchen die letzteren in der angegebenen Weise einen Verband von Glaswatte erhielten. Je zwei in gleicher Weise vorbereitete Zweige setzte ich unter Druck, während die anderen frei in Wasser stehen blieben. Der Versuch fand in einem mässig temperirten Hause statt, in welchem man auch sonst solche Zweige zu treiben pflegt. Es stellte sich heraus, dass unter denjenigen Bedingungen wie sie in einem

Gewächshause gegeben sind, in welchem die Feuchtigkeit der Luft relativ bedeutend, die Transpirationsgrösse dadurch herabgesetzt ist, ein Einpressen von Wasser die Entfaltung der Knospen nicht beschleunigt. Die frei in Wasser aufgestellten Zweige entwickelten ihre Blüthen und Blätter zum geringsten ebenso gut wie die unter Druck befindlichen. Im Freien kann das eben anders ausfallen, wenn durch starke Transpiration der Wasserverlust an den Knospen ein grösserer ist. Da wird Wassermangel leichter ohne Blutungsdruck als mit Blutungsdruck sich einstellen. Im Gewächshause waren augenscheinlich die Transpirationsverluste auch an den Knospen der frei in Wasser aufgestellten Zweige hinlänglich gedeckt, und da zeigte es sich, dass der Wasserdruck als solcher die Entwicklung der Knospen nicht förderte. Der Versuch hatte Mitte Februar begonnen; Ende des Monats standen Kerria und Cydonia in Blüthe, Schneeball und Flieder folgten später nach. Bei Kerria und Cydonia waren die Blüthen durchaus normal entwickelt nur blieben sie bei Cydonia weit heller. Bei Viburnum und Syringa erreichten die Blüthenstände hingegen bei weitem nicht ihre volle Grösse. In allen Fällen blieben die Blätter hinter ihrer normalen Ausbildung zurück. — Für Zwecke des Frühtreibens in Gewächshäusern würde somit ein Einpressen von Wasser unter Druck zwecklos sein. — Was das Verhältniss der Entwicklung ausgebrochener zu den abgeschnittenen Zweigen anbetrifft, so zeigte sich auch in dieser Beziehung kein Unterschied. Die angewandten Vorsichtsmaassregeln hatten eben genügt, um den aufgeschnittenen Querschnitt zum mindesten ebenso gut zu schützen, als sich der ausgebrochene von selbst schützte.

Wie meine Versuche somit zeigen, kann auch unter normalen Verhältnissen innerhalb der Pflanze Blutungsdruck nicht die unumgängliche Bedingung der Knospenentfaltung sein, wohl aber das den Knospen zu ihrer Entfaltung nöthige Wasser zur Verfügung stellen. Dass der Blutungsdruck die Knospenentwicklung begünstigt, da er unter allen Umständen das Wasser bis zu den Knospen schafft, ist dabei wohl sicher; ein Einpressen von Wasser in die Knospen ist aber nicht erforderlich. Während die Pflanze mit transpirirenden Blättern bedeckt ist, herrscht, unter gewöhnlichen Umständen, ein gewisser Wassermangel für die seitdem angelegten geschlossenen Knospen. Durch Witte-

rungsverhältnisse bedingter Wasserüberschuss und dadurch veranlasster Blutungsdruck kann aber diese Verhältnisse ändern. So hat denn bereits Sachs darauf hingewiesen [1]), dass es möglicher Weise Blutungsdruck sein könne, der zur Bildung des sogenannten Augusttriebes anrege. Ohne Blutungsdruck dürfte das Wasser in der That nur in sehr beschränktem Maasse bis über die obersten transpirirenden Blätter gelangen und somit auch die Entwicklung der zur Ruhe gekommenen Knospen kaum anregen können. Hebt man die Transpiration aus diesen Blättern auf, so stellt man damit, wie Wiesner neuerdings zeigte, auch die Bedingungen her, wie sie eine Entfaltung der Knospen veranlassen. Dann wird eben jedes, nach Füllung der Leitungsbahnen hinzukommende Blutungswasser schon Erscheinungen der Ueberfüllung veranlassen. Umgekehrt hat Wiesner [2]) darauf hingewiesen, wie ältere, stärker transpirirende Theile der Pflanze unter bestimmten Verhältnissen den jüngeren das Wasser entziehen und deren Weiterentwicklung sistiren können [3]). Es findet in solchen Fällen, wie es Wiesner ausdrückt, eine „Absaugung“ von Wasser statt, die einen absteigenden Wasserstrom veranlasst. Dadurch soll beispielsweise bei sympodial sich aufbauenden Laubsprossen zahlreicher Holzgewächse die Entwicklung des Sprossgipfels verlangsamt und gehemmt und schliesslich die Bildung einer Trennungsschicht veranlasst werden, die ein Abwerfen des Sprossgipfels nach sich zieht [4]). Auf ähnlicher Veranlassung soll auch die Schliessung der Terminalknospen beruhen, eventuell die Ausbildung einer Terminalknospe auch ganz verhindert werden, wo dann Achselknospen der das Wasser an sich ziehenden Blätter die Sprosskette fortzusetzen haben. Ebenso ist es in erster Linie die Transpiration des Laubes, welche die Axillarknospen in ihrer Weiterentwicklung hemmt, so dass sie zu Winterknospen werden. Ebenso wie man den Abschluss der terminalen Entwicklung verhindern, so kann man auch die Weiterentwicklung der Axillarknospen anregen

---

1) Handbuch der Pflanzen-Physiologie, p. 242.

2) Der absteigende Wasserstrom und dessen physiologische Bedeutung, Bot. Ztg. 1889, Sp. 6.

3) l. c. Sp. 2 ff.

4) Aus ganz ähnlichen Ursachen hatte bereits Dutrochet diese Erscheinung abgeleitet, Mémoires, 1837, Progression de la sève, p. 216.

durch Herabsetzung der Transpirationsgrösse und reichliche Wasserzufuhr vom Boden [1]). Ja, unter Umständen lässt sich durch Aufhebung der Transpiration sogar die Ausbildung von Langtrieben an Stelle von Kurztrieben erreichen [2]). Die unmittelbar wirkende Ursache dürfte in der That, dem Ausfall des Versuches nach zu schliessen, bei all den angeführten Erscheinungen die Transpiration sein, das Ergebniss der Einwirkung gehört aber, wie auch Wiesner bemerkt, in das Gebiet der Correlationserscheinungen, welche durch die ganze Oekonomie der Pflanze bestimmt werden [3]). — Diese Correlationserscheinungen bedingen es ja auch, dass Bäume, die absichtlich entblättert wurden, oder durch Frost, Hagel oder Raupenfrass ihre Blätter einbüssten, dieselben aus Knospen ersetzen, die sonst in derselben Vegetationsperiode geschlossen geblieben wären. Die letzte wirksame Ursache dürfte auch hier die Zunahme des Wassergehaltes in der Pflanze sein, die Füllung der Bahnen als Folge herabgesetzter Transpiration, eventuelle Ueberfüllung durch Hinzukommen von Blutungswasser.

Die Frage, ob mit dem Blutungssaft zugleich Luftblasen aus geöffneten Gefässen hervortreten könnten, ist in verschiedenem Sinne beantwortet worden. Wir selbst gaben an, dass an den, Wasserausfluss zeigenden tropischen Lianen mit dem Wasser zugleich auch Austritt von Luftblasen erfolgen kann. Es ist dann zu beobachten, dass, wenn die Zahl der Luftblasen gering ist, die Weite der beiderseits geöffneten Gefässe und somit auch der Druck der Wassersäule unbedeutend sind. Der Blutungssaft des Weinstocks und anderer blutender Gewächse wird unter Umständen ganz luftfrei sein können, doch liegt auch ein Grund nicht vor, dass er nicht Luftblasen enthalte. Ist der Blutungsdruck ausreichend, so wird er auch diese Luftblasen in Bewegung setzen, so wie wir schon mit 40 bis 50 cm Wasserdruck die absichtlich dargestellten Luft-Wasser-Ketten aus den Gefässen verdrängten. Wenn bei dem bedeutenden Blutungs-

---

1) Wiesner, l. c. Sp. 6, 7.

2) l. c. Sp. 25.

3) Wie das seinerzeit auch schon Goebel entwickelt hatte in „Beiträge zur Morphologie und Physiologie des Blattes", Bot. Ztg. 1880, Sp. 809.

druck, der beim Weinstock zu herrschen pflegt, das Wasser ohne Luftblasen aus den Gefässen tritt, so ist in der That anzunehmen, dass letztere fehlen. In manchen Fällen sind sie aber in geringer Anzahl vorhanden. Meyen [1]) sah sie einzeln aus den Gefässen eines blutenden Weinstocks hervortreten. Die Zahl der Bläschen sollte um so grösser werden, je mehr sich der Einfluss der Sonnenstrahlen auf den Weinstock geltend machte. Rominger [2]) berichtet ebenfalls, dass an der blutenden Rebe sich da und dort Luftblasen aus den Gefässen erheben; dieselben seien aber bei weitem kleiner als der Durchmesser der betreffenden Gefässe. Vereinzelte grössere Luftblasen glaubt er auf von der Schnittfläche aus eingedrungene Luft zurückführen zu müssen. So auch sah Unger [3]) bei der Birke mit dem Blutungssaft von Zeit zu Zeit Luftblasen hervortreten. Andererseits giebt Hofmeister an, dass die Ausscheidung von Saft aus durchschnittenen Wurzeln oder Stammstümpfen krautartiger Gewächse in keinem der zahlreichen beobachteten Fälle von Austreten von Luftblasen, solange als der Saft reichlich ausfloss, begleitet war [4]). An blutender Betula populifolia, deren Knospen noch geschlossen waren, fand endlich v. Höhnel [5]) den ausfliessenden Saft fast ohne Luftblasen. Dass bei Taxus baccata, wie Pfeffer [6]) angiebt, mit dem Blutungssaft keine Luftblasen hervortraten, beweist noch nicht ihr Fehlen in demselben, folgt vielmehr unmittelbar aus der Undurchlässigkeit der mit Wasser erfüllten Hoftüpfel für Luft, welche selbst etwa vorhandenen Luftblasen den Durchtritt verwehren mussten.

---

1) Neues System der Pflanzen-Physiologie, Bd. II, 1838, p. 48.

2) Versuche über die Saftführung der Gefässe, Bot. Ztg., 1843, Sp. 177.

3) Studien über sogenannte Frühlingssäfte der Pflanzen, Sitzber. d. Wien. Akad., Math.-nat. Cl., Bd. XXV, 1857, p. 442.

4) Ueber Spannung, Ausflussmenge und Ausflussgeschwindigkeit von Säften lebender Pflanzen, Flora, 1862, p. 108.

5) l. c. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 104.

6) Pflanzen-Physiologie, Bd. I, p. 158.

Wasseraufnahme aus dem Boden und Wasserabgabe an die Atmosphäre.

Getödtete Wurzeln können aus feuchter Erde einige Tage lang das für ihren Transpirationsbedarf nöthige Wasser aufnehmen. A. Hansen [1]) erhitzte die Wurzeln von Topfpflanzen in der Erde so lange, bis dass die Temperatur der Erde auf 65—70° C stieg. Diese Temperatur wurde ein bis zwei Stunden constant erhalten. Pflanzen von Pittosporum floribundum, Digitalis purpurea, Nicotiana Tabacum, Helianthus annuus, so behandelt, blieben tagelang frisch. Nicht anders verhielten sich ausgetopfte Pflanzen von Nicotiana Tabacum, Dipsacus fullonum, deren Wurzeln von der Erde befreit, eine halbe Stunde lang in Wasser von 70—80° C gebrüht und hierauf in frisches Wasser gesetzt wurden. Nicht anders endlich war auch das Verhalten ebenso behandelter Tabak-, Bohnen- und Maispflanzen aus Wasserculturen.

Alle diese Pflanzen nahmen beträchtliche Wassermengen mit ihren getödteten Wurzeln während der Versuchszeit auf; wenn auch weniger als die lebendigen Wurzeln von Vergleichspflanzen.

Zur Deckung mässiger Transpirationsansprüche reichte das durch die getödteten Wurzeln aufgenommene und fortgeleitete Wasser in allen Fällen aus.

Dass aber wirklich getödtete Wurzeln in jedem Einzelfall vorlagen, das stellte Hansen durch directe Untersuchung fest.

Die Mitwirkung einer lebendigen Wurzelkraft war somit bei diesen Versuchen ausgeschlossen. Wenn es, meint Hansen [2]), noch eines Beweises bedürfte, dass der Wurzeldruck für die Transpiration gar nicht existirt, so sei derselbe durch diese Versuche erbracht.

Die Hansen'schen Versuche wiederholte Janse [3]) in der Absicht, bestimmte Schlussfolgerungen desselben zu widerlegen.

---

1) Ein Beitrag zur Kenntniss des Transpirationsstromes, Arb. d. bot. Inst. in Würzburg, Bd. III, p. 308.

2) l. c. p. 313.

3) Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 17.

Auch er constatirte, dass Pflanzen, deren Wurzeln gebrüht worden waren, noch längere Zeit ihren Transpirationsbedarf zu decken vermochten. Eine Pflanze von Helianthus annuus blieb nach Tödtung der Wurzeln längere Zeit vollkommen turgescent; nach Ablauf von neun Tagen war es aber schliesslich nur noch die Endknospe. Der Stengel erschien bereits schlaff; so auch die älteren Blätter; die ältesten sogar zum Theil trocken. Dann wurde der Stengel unter Wasser durchschnitten und die Schnittfläche der oberen Theile in Wasser gelassen. In etwa zwei Stunden richtete sich der Stengel auf, die Blätter wurden turgescent und blieben es acht Tage. Die Wasseraufnahme durch die geöffneten Gefässe genügte also zur Ersetzung des Transpirationsverlustes, nicht aber die todten Wurzelzellen. Das vorherige Welken wurde also durch den hemmenden Einfluss der letzteren hervorgerufen. Das sucht Janse gegen die Ansicht Hansen's zu verwerthen, dass das Wasser sich durch Imbibition in den Membranen bewege. Für uns genügt aber die Thatsache, dass auch in den Janse'schen Versuchen die Pflanze längere Zeit ihren Transpirationsbedarf durch todte Wurzeln zu decken vermochte. Dass diese schliesslich, in Folge nothwendiger Weise sich einstellender Zersetzungserscheinungen und Verstopfungen, versagten, ist leicht zu verstehen und lässt sich im Sinne einer jeden Theorie deuten. In einem anderen Versuch tödtete Janse[1]) die Wurzeln eines Fuchsia-Stecklings im Topfe und setzte dieselben mit Hilfe der Wasserstrahlluftpumpe einer Saugung von 72 cm Quecksilber aus. Die Pflanze welkte im Verlauf von 2 Stunden. Sie erholte sich auch weiterhin nicht, nachdem der Aussenluft plötzlich freier Zutritt gewährt wurde. Hieraus schliesst Janse auf die Betheiligung des Luftdrucks an der Wasseraufnahme durch getödtete Wurzeln, während thatsächlich der Ausfall seines Versuchs sich aus der Injection der Wasserbahnen der Wurzel mit Luft erklärt.

Neuerdings berichtet auch Boehm[2]) über Wasseraufnahme durch getödtete Wurzeln. Die getödteten Wurzeln reichten nur mit ihren Spitzen in das Wasser, welches sie aufnehmen sollten. Die

---

1) l. c. p. 17.

2) Ursache des Saftsteigens, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesell. 1889, p. (53).

Luft in den Kulturgefässen befand sich dabei theils unter gewöhnlichem Druck, theils wurde dieselbe mittelst der Luftpumpe fast bis zur Tension des Wasserdampfes verdünnt. Parallelversuche mit unversehrten Pflanzen lehrten, nach Boehm, dass durch das Tödten der Wurzeln zunächst die Transpirationsintensität im Schatten weder bei gewöhnlichem Drucke, noch — im Gegensatz zu Janse — nach dem Auspumpen der Luft aus dem Kulturgefäss eine wesentliche Veränderung erfährt. „Würde", schreibt Boehm, „die Wasseraufnahme durch endosmotische Saugung und das Saftsteigen durch Luftdruck bewirkt werden, so könnte bei den beschriebenen Versuchen selbst nur ein theilweiser Ersatz des transpirirten Wassers nicht stattfinden: die Wasserbewegung transpirirender Pflanzen kann daher nur durch Capillarität bewirkt werden." Am Schlusse der Boehm'schen Abhandlung heisst es dann nochmals [1]): „Die Wasseraufsaugung durch die Wurzeln und das Saftsteigen werden durch Capillarität, die Wasserversorgung des Blattparenchyms wird durch den Luftdruck bewirkt."

In der Boehm'schen Abhandlung ist auch bereits die Angabe vorhanden, dass ein an seinem unteren Ende gekochter und entrindeter Ast, dessen Schnittfläche in geeigneter Weise verschlossen werde, Wasser aufnimmt, wenn auch langsam [2]).

Wir selbst haben zahlreiche Versuche mit am unteren Ende entrindeten, gekochten und mit Gummikappen am Querschnitt verschlossenen Zweigen angestellt, welche sich nicht nur befähigt zeigten, Wasser durch die entblösste Aussenfläche ihres Holzkörpers aufzunehmen, sondern dies auch noch bei Minderdruck von fast einer vollen Atmosphäre thaten. Dass solche Pflanzen nicht lange frisch bleiben konnten, liegt auf der Hand, ändert aber nichts an der Thatsache, dass sie unter den gegebenen Verhältnissen zur Aufnahme und Aufwärtsleitung des Wassers sich befähigt zeigten.

Einige Versuche mit Topfpflanzen von Helianthus annuus, deren Wurzeln ich nach dem Hansen'schen Verfahren tödtete, ergaben ganz die nämlichen Resultate wie bei Hansen, so dass ich es nicht für nöthig hielt, diese Versuche weiter fortzusetzen.

Aus dem Angeführten geht mit Sicherheit hervor, dass von

1) l. c. p. (56).
2) l. c. p. (54).

den Wasserbahnen der Pflanzen aus sich eine saugende Wirkung auf die Umgebung fortpflanzt, welche dahin führt, die Wasserbahnen mit Wasser zu füllen. Diese Saugung zeigte sich vom Luftdruck unabhängig. Die Spannungszustände der in den Tracheïden und Gefässen der Wurzel vorhandenen Luftblasen sind auf dieselbe nicht von Einfluss. Es kann sich vielmehr nur um eine Saugung handeln, die durch ähnliche moleculare Vorgänge angeregt und unterhalten wird, welche auch die weitere Aufwärtsbewegung des Wassers innerhalb der Leitungsbahnen beherrschen. Diese Kräfte sind demgemäss bedeutend, sie vermögen nicht allein die Aufnahme von Wasser in die Leitungsbahnen, wie eben erinnert wurde, bei dem negativen Druck von fast einer vollen Atmosphäre zu besorgen, sie sind auch im Stande, den umgebenden Zellen Wasser zu entreissen, welches osmotisch festgehalten wird. Seit den Untersuchungen von Pfeffer [1]) ist aber bekannt, dass selbst bei relativ verdünntem Zellsaft, lebendige Zellen eine osmotische Anziehung zeigen, die mehreren Atmosphären das Gleichgewicht hält. Die saugende Wirkung, welche von den Gefässen ausgeht, wollen wir, ohne deren physikalisch erst zu classificirender Natur vorzugreifen, hier als tracheale bezeichnen. — Die tracheale Saugung der Wasserbahnen ist unabhängig von der lebendigen Thätigkeit der Wurzelzellen. Das lehren unzweifelhaft die Ergebnisse der Versuche mit den getödteten Wurzeln einerseits, und mit den am Querschnitt verschlossenen Zweigen. Die lebendigen Zellen der Wurzel verhalten sich aber bei dem Vorgang der Wasseraufnahme aus dem Boden nicht rein passiv; das lehren zahlreiche Erfahrungen der Pflanzenphysiologie. Getödtete Wurzelzellen reagiren freilich der trachealen Saugung gegenüber nicht anders wie ein mit Wasser imbibirter Schwamm. In dem Maasse als ihnen das tracheale System Wasser entzieht, saugen sie solches aus dem Boden nach. Sie nehmen das Bodenwasser so auf, wie es sich ihnen bietet, ohne Auswahl der Stoffe, und so auch gelangt dieses Wasser in die trachealen Wasserbahnen. Anders die Zellen der lebendigen Wurzel, welchen ein Wahlvermögen zukommt, und welche auf äussere und innere Reize in bestimmter Weise reagiren. Mit einer getödteten oder einer abgestorbenen Wurzel kann die Pflanze daher Lösungen

1) Vergl. Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 52.

beliebiger Körper, die ihr geboten werden, aufnehmen; die einzige Bedingung ist, dass diese durch die Membranen gehen. Schon de Saussure [1]) hatte festgestellt, dass sich gesunde und kranke Wurzeln in Hinsicht auf die Einsaugung der ihnen gebotenen Lösungen sehr verschieden verhalten. So auch constatirte er bereits, dass die Tödtung der Wurzeln durch eine giftige Substanz, z. B. durch Kupfervitriollösung, zur Folge habe, dass nicht nur diese selbst in bedeutender Menge aufgenommen werde, sondern dass auch andere, gleichzeitig dargebotene Stoffe in weit stärkerem Verhältniss als durch gesunde Wurzeln in die Pflanze gelangen. Die lebendigen Zellen hingegen, welche die trachealen Bahnen des Centralcylinders der Wurzel von deren Oberfläche trennen, lassen nur bestimmte Stoffe durch, ein Verhalten, welches auf osmotische Vorgänge unter der Herrschaft des Protoplasmas hinweist. Die trachealen Bahnen stören, so lange als sie den angrenzenden Zellen Wasser entziehen, das endosmotische Gleichgewicht und regen so eine endosmotische Saugung an, die sich bis zur Oberfläche der Wurzel fortpflanzt. Hört die von den trachealen Bahnen ausgehende Saugung auf, so stellt sich das osmotische Gleichgewicht in der Wurzelrinde her, um wieder gestört zu werden, wenn die Saugung aus den trachealen Bahnen von neuem beginnt. Die anatomischen Befunde geben keine Anknüpfungspunkte für die Annahme einer Verschiedenheit im Verhalten der die Wasseraufnahme vermittelnden Zellen der Wurzelrinde. Eine solche Annahme ist nach dem Obigen auch nicht nöthig. Dagegen liesse sich auf Grund anatomischer Befunde vorstellen, dass den die trachealen Bahnen unmittelbar umkleidenden vasal-, respective holzparenchymatischen Elementen, die wir wiederholt schon als Belegzellen bezeichnet haben und hier auch weiter so bezeichnen wollen, eine besondere Aufgabe zufällt. Es äusserte sich Russow [2]) bereits dahin, dass der Bau der Wurzelrinde und der Wurzelepidermis „nicht den Voraussetzungen entspricht, welche zum Zustandekommen einer Wasserbewegung in bestimmter Richtung gemacht werden müssen“. Diesen Anforderungen wären ihrem Bau nach nur die paren-

1) Recherches chim. sur la végét., p. 247.

2) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, 1883, p. 166.

chymatischen Elemente gewachsen, welche die trachealen Bahnen umgeben. In der That sehen wir ja, dass dieselben, auch wo allseitig verholzt, stets mit unverholzten, sehr permeablen Schliesshäuten, einseitig nach den trachealen Bahnen münden. Eine bevorzugte einseitige Durchlässigkeit ist in den Rindenzellen der Wurzel nicht nothwendig, da in ihnen auch ohne dies dem Wasser eine bestimmte Richtung der Bewegung inducirt wird; in den Belegzellen müssen hingegen die permeablen Schliesshäute den trachealen Bahnen die Aufgabe der Wasserentziehung wesentlich erleichtern. Bei der anatomischen Untersuchung fällt auch fast stets der relative Reichthum der Belegzellen an Inhaltsstoffen auf. Damit wäre auch eine Grundlage für die Annahme einer höheren osmotischen Leistungsfähigkeit derselben gewonnen. Würde freilich das Einströmen von Wasser aus den Belegzellen in die trachealen Bahnen auf einem Filtrationsvorgang beruhen, bei welchem der Belegzelle selbst eine rein passive Rolle zufiele, so müsste die in die tracheale Bahn eintretende Flüssigkeit die Zusammensetzung des Zellsaftes der Belegzelle haben. Die osmotische Leistungsfähigkeit der in solcher Weise ihren Inhalt an die trachealen Bahnen abgebenden Elemente würde rasch abnehmen und alsbald auf sehr geringe Werthe sinken. Es müsste denn angenommen werden, dass durch starke Stoffzufuhr dauernd für den Ersatz der verloren gegangenen Energie gesorgt sei. Bei der grossen Menge von Wasser, welche die Belegzellen passirt, ist eine solche Annahme unwahrscheinlich. Auch spricht gegen die Vorstellung, dass der Zellsaft der Belegzellen als solcher in die trachealen Bahnen eingesogen werde, die Thatsache, dass der Inhalt derselben, von der Blutungszeit abgesehen, nicht die hierzu erforderliche Zusammensetzung zeigt. Es bleibt somit nur die Annahme übrig, dass auch die durch tracheale Saugung veranlasste Filtration aus den Belegzellen in die Wasserbahnen, so wie die osmotischen Vorgänge[1]), unter dem regulirenden Einfluss des protoplasmatischen Wandbelegs der Belegzellen steht, und dass dieser nur bestimmten Inhaltsstoffen den Durchgang gewährt. Ein Lebensvorgang, der in der Energie des lebendigen Protoplasmas seine Quelle findet, würde somit auch darüber zu

---

1) Vergl. auch Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 50 ff., 171.

wachen haben, dass das in die trachealen Bahnen eingesogene Wasser annähernd die Zusammensetzung des aufgenommenen Bodenwassers behalte. — Die dauernde Wasserentziehung müsste andererseits fort und fort die osmotische Wirksamkeit der Belegzellen anregen und dieselben somit befähigen, dauernd eine osmotische Saugung auf die angrenzenden Parenchymzellen auszuüben. Damit wäre dann auch der dauernde Anstoss zu einer Bewegung gegeben, die sich bis zur Oberfläche des Wurzelkörpers fortpflanzen und dort zur Aufnahme von Wasser aus dem umgebenden Boden führen würde. — Eine Umkehrung dieses Vorgangs liesse sich wohl bei künstlich unterhaltener Ueberfüllung der primären Wasserbahnen der Wurzel mit Wasser und gleichzeitiger Trockenhaltung des umgebenden Bodens denken. Alsdann könnte, geeignete Versuchsobjecte vorausgesetzt, der Wassergehalt der an die Wasserbahnen grenzenden lebendigen Elemente bedeutend anwachsen, und von da aus gegen die Peripherie des Wurzelkörpers zu, also mit Annäherung an den trocknen, capillar wirksamen Boden fortdauernd sinken. Die Wasserentziehung würde von dem umgebenden Boden ausgehen und daher auch eine der normalen entgegengesetzte Bewegung des Wassers auf osmotischem Wege veranlassen. So wenigstens lege ich mir die Angabe von Boehm [1]) zurecht, welcher behauptet, eine Umkehrung des Saftstroms in der Wurzel künstlich veranlasst zu haben, und der hieraus schliesst, dass „nach beiden Richtungen die Zugkraft dieselbe“ sei, und in dem Ausfall seines Versuches eine neue Stütze dafür findet, dass die Wasseraufnahme aus dem Boden, wie der Wasseraufstieg in der Pflanze, auf „Capillarität“ beruhe. Der Versuch von Boehm [2]) wurde mit dem Strunk der Sonnenrose (Helianthus annuus), die sich als das geeignetste Object hierzu erwies, ausgeführt. Boehm verband den Strunk einer dickstämmigen, im zweiten Internodium abgeschnittenen Pflanze durch ein ∩-förmiges Glasrohr mit einem cubicirten Cylinder; Glasrohr und Cylinder waren mit Wasser angefüllt. „Um jede Pressung zu verhindern“, giebt Böhm an, „wurde der Cylinder mit der Schnittfläche des Strunkes auf gleiche Höhe gestellt“.

---

1) Umkehrung des aufsteigenden Saftstromes, Ber. d. Deutsch. bot. Gesell. 1890, p. 311.

2) l. c. p. 312.

Das Glasrohr tauchte bis auf den Grund des Cylinders in Wasser. Der Strunk der Sonnenrose sog bei dieser Anordnung des Versuchs nicht unbedeutende Wassermengen auf, welche das Vielfache des Strunkvolumens betrugen, und daher, mit Ausnahme eines nur geringen Theiles, an den Boden hatten abgegeben werden müssen. — Boehm behauptet, dass jede Einpressung von Wasser in seinem Versuche ausgeschlossen war, und ich habe diese seine Behauptung gelten lassen, wenn dieselbe sich auch nicht unmittelbar aus seiner Schilderung ergiebt. Denn es ist klar, dass, um jedes active Einpressen von Wasser in den Strunk auszuschliessen, nicht der das Wasser führende Cylinder, wie es in der Beschreibung heisst, sondern der Spiegel des in dem Cylinder enthaltenen Wassers in gleiche Höhe mit der Schnittfläche des Strunks hätte gestellt werden müssen. Ja selbst auch da würde bei Hinzurechnung der Gefässe des Strunkes, letzterer den einen Schenkel des ∩-Rohrs verlängert, das ∩-Rohr somit wie ein Heber gewirkt haben. Weitere Versuche werden somit erst definitiv darüber zu entscheiden haben, ob es sich in dem Boehm'schen Versuch nicht um ein Einpressen von Wasser in den Strunk der Sonnenrosen gehandelt habe.

Mit der von mir hier entwickelten Vorstellung von dem Gang der Aufnahme und der Aufwärtsleitung des Wassers durch die Wurzel lassen sich alle über den Bau der Wurzeln bekannt gewordenen Thatsachen sehr gut in Einklang bringen, während für jede andere Annahme die anatomische Grundlage schwer zu beschaffen ist. So namentlich auch für die von Hansen vertretene Ansicht [1]), dass das aus dem Boden aufgenommene Wasser seinen Weg durch die Membranen nehme. Dann müsste ja erwartet werden, dass die Membranen der Zellen innerhalb der Wurzelrinde vorwiegend radial auf einander treffen, dass sie nach den Durchlassstellen der Endodermis zusammenneigen, dass sie stärker verdickt, eventuell verholzt seien. Auch das cutinisirte Band in den radialen Wänden der Endodermis wäre dann schwer begreiflich, denn es versperrt ja den Weg durch die Zellwände; auch müssten verdickte Zellen an den Durchlassstellen vor den Gefässtheilen dann fast entsprechender als dünnwandige erscheinen. So aber, wie der Bau

1) l. c. p. 313.

der Wurzel thatsächlich gegeben ist, spricht er für den osmotischen Transport des Bodenwassers durch die Lumina der lebendigen Zellen, unter Anstoss einer von den trachealen Bahnen ausgehenden Saugung. In Beziehung auf die letztere muss es aber als eine vortheilhafte Einrichtung erscheinen, dass die trachealen Bahnen im Centralcylinder der Wurzel in eine peripherische Lage verschoben worden sind. In dem Maasse aber, als jüngere Wurzeltheile in die Thätigkeit der Wasseraufnahme treten und die älteren dieser Aufgabe entrückt werden, sieht man den Centralcylinder sich mit Kork im Pericykel abschliessen und einen secundären Zuwachs beginnen, der eine völlig andere, anderen Aufgaben entsprechende und derjenigen des Stammes gleichende Vertheilung der Elemente zeigt.

Während die grosse Masse des aus dem Boden geschöpften Wassers in die Wasserbahn in Folge trachealer Saugung gelangt, wird eine relativ kleine Wassermenge als Blutungswasser in diese Bahnen eingepresst. Die Blutung kann sich nur dort einstellen, wo die tracheale Saugung aufgehört hat, wo die trachealen Bahnen somit den Belegzellen Wasser nicht mehr entziehen. Wo die Wasserbahnen leicht und rasch angefüllt werden, da stellt sich auch ebenso leicht Blutungsdruck ein. Bei vielen krautartigen Gewächsen wechselt er regelmässig mit der Saugung ab. Sind nämlich die trachealen Bahnen angefüllt und hat die Entziehung des Wassers aus den Belegzellen aufgehört, so steigt, da sie fortfahren, auf osmotischem Wege Wasser aufzunehmen, der hydrostatische Druck in denselben. Dieser Druck macht sich auf den protoplasmatischen Wandbeleg und die als Widerlage dienenden Membranen in steigendem Maasse geltend. Ist der Widerstand der Plasmahaut überwunden, so filtrirt der Zellsaft in der Richtung des geringsten Widerstandes heraus. Es geschieht dies naturgemäss, wie schon an anderer Stelle hervorgehoben wurde, durch die Schliesshäute der grossen Tüpfel in das Lumen der trachealen Elemente hinein. In diese wird somit jetzt der Zellsaft hineingepresst. Es ist nachgewiesen, dass der Blutungsdruck in der That stets eine Flüssigkeit liefert, die plastische Stoffe enthält und ihrer Zusammensetzung nach somit als Zellsaft gelten kann. Der unter Druck in die trachealen Bahnen gepresste Saft hat somit eine andere Zusammensetzung als der in dieselbe hineingesogene. Die unter hydrostatischem Druck gedehnte Protoplasmahaut

mag eben dem Durchgang der Inhaltsstoffe des Zellsaftes weniger als die durch Saugung von aussen contrahirte widerstehen. Der Blutungssaft, der auf diese Weise in die trachealen Bahnen tritt, vermengt sich dort mit dem zuvor eingesogenen Wasser und verdünnt sich entsprechend.

Es ist anzunehmen, dass die tracheale Saugung von den Wasserbahnen aus, sich auf die Belegzellen nicht allein in der Wurzel geltend macht. Oberhalb der aufnehmenden Wurzeltheile wird diese Saugung unter gewöhnlichen Verhältnissen wohl kaum Wasser den trachealen Bahnen zuführen können, da die osmotische Spannung in den Belegzellen dort jedenfalls weit höhere Werthe erreicht. Umgekehrt werden die Belegzellen dort den trachealen Bahnen Wasser entziehen, um es an osmotisch noch wirksamere Nachbarzellen zu übermitteln. Unter Umständen stellt sich aber Blutung aus diesen Belegzellen in die tracheale Bahn ein, wenn nämlich der hydrostatische Druck zu sehr in denselben anwächst. Die Aussichten hierfür werden mit dem Wassergehalt des Holzkörpers wachsen. Sie müssen somit gegen Ende des Winters zunehmen, wo sich der Holzkörper nach dem Aufthauen des etwa zuvor gefrorenen Bodens mit Wasser anfüllt, und sie finden dann auch in den Frühjahrsblutungen ihren prägnanten Ausdruck.

Da die Belegzellen der trachealen Bahnen in Wurzel und Stamm gleichen Bau aufweisen [1]), so ist auch anatomisch schon auf ihre gleiche Leistungsfähigkeit zu schliessen. Namentlich gilt dies für die Belegzellen des secundären Zuwachses. Bei Holzgewächsen, bei denen in den primären Wurzeltheilen dauernd viel Wasser den Belegzellen entzogen wird, dürften diese während der Vegetationszeit kaum zur Aeusserung von Blutungsdruck gelangen. Während dieser Zeit wird ein Zuschuss von Blutungssaft aus der Wurzel, somit echter Wurzeldruck, kaum als Wasserquelle in Betracht kommen. Den im secundären Zuwachs der Wurzel sich etwa geltend machenden Blutungsdruck möchte ich kaum mehr als echten Wurzeldruck bezeichnen, da ja im secundären Zuwachs die charakteristischen Merkmale der Wurzel verloren gehen und die in die Dicke wachsenden

---

1) Vergl. auch Russow, Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 68.

Wurzeltheile Wasser aus dem Boden nicht mehr zu schöpfen vermögen.

Sehr oft haben wir im anatomischen Theile unserer Arbeit darauf hinzuweisen gehabt, dass die Belegzellen der trachealen Bahnen, so wie die an die trachealen Bahnen anschliessenden Markstrahlzellen, auf eine Arbeitstheilung hinweisen, indem nur ein Theil derselben durch Tüpfel mit den trachealen Bahnen sich verbunden zeigt. Nur die mit den trachealen Bahnen so verbundenen Elemente dürften an dem Zustandekommen des Blutungsdruckes betheiligt sein, wie auch anzunehmen ist, dass sie allein darauf eingerichtet sind, den trachealen Bahnen Wasser zu entziehen. Nicht unwichtig erschien die Feststellung, dass diesen, mit den trachealen Bahnen so verbundenen Zellen abgelagerte Reservestoffe entweder ganz abgingen, oder dass sie zum Mindesten ärmer an solchen Reservestoffen als ihre Nachbarinnen waren. In letzteren, denen die Tüpfel nach der trachealen Bahn zu fehlen, muss somit der Stoffverbrauch ein geringerer sein, andererseits ihnen wohl die Aufgabe zufallen, die getüpfelten Schwesterzellen mit plastischen Stoffen zu versorgen.

Besonders typisch ausgebildete Belegzellen und typisch ausgebildete Markstrahlanschlüsse sieht man bei vorgeschrittener Differenzirung im Gefässbündel an den weiten getüpfelten Gefässen. Aus diesen weiten Gefässen, welche die Reservoire des Gefässtheils darstellen, würden also die umgebenden Gewebe das Wasser schöpfen, in diese auch Wasser unter Umständen einpressen, während die engeren Elemente vor allem der Aufwärtsleitung dienen und die Deckung des Transpirationsbedarfs zu besorgen hätten. Daher auch das Blutungswasser aus den weitesten Gefässen besonders reichlich fliesst, die man zur Zeit stärkerer Transpiration fast leer findet. Daher wohl am Tage die Versorgung der Transpirationsflächen vornehmlich vollzogen, die Versorgung der innern Gewebe auf die Nacht verlegt wird, wenn die Reservoire sich von neuem füllen. — Wo Tracheïden einer Art die Wasserbahn bilden, fällt natürlich solche Arbeitstheilung weg.

Die Beziehung der Belegzellen und Markstrahlzellen zu den Wasserbahnen dürfte aber, wie ich hoffe, hiermit richtig abgegrenzt sein; an der Hebung des Wassers nehmen dieselben nicht Theil. — Zu einem gerade entgegengesetzten Resultate

war Westermaier[1]) gekommen. Er lässt das Wasser auf endosmotischem Wege in den Parenchymen steigen und von diesen unter hydrostatischem Druck in die Tracheïden und Gefässe pressen. Dort wird das Wasser durch Luftblasen in Gestalt Jamin'scher Ketten getragen, unten aus den Wassergliedern der Kette nehmen aber die Parenchyme das Wasser wieder auf, um es nach Bedarf höher zu führen. „Zwei Kräfte sind hiernach" meint Westermaier[2]) „im Spiel, die endosmotische Kraft und die Capillarität; bewegend wirkt aber nur die einzige, die endosmotische Kraft und zwar theils durch Erzeugung eines hohen hydrostatischen Druckes, welcher eine Filtration in die Gefässe (Tracheïden) veranlasst, theils durch Saugung im Parenchym; die Capillarität wirkt blos haltend, nicht bewegend." Eine „mächtige Stütze" liegt, nach Westermaier, für seine Klettertheorie des Wasseraufstieges in der Pflanze darin, dass sie mit anatomischen Verhältnissen im Zusammenhang steht. „Es ist ... bei Erforschung der Function eines Gewebssystems so zu sagen ein unfehlbares Princip, den anatomischen Sachverhalt stets vor Augen zu haben, und so wird es keineswegs überraschen, wenn uns auch hier, wie sonst, die physiologische Bedeutung aus dem anatomischen Baue entgegenleuchtet." Wir können Westermaier darin nur beistimmen, dass einer physiologischen Untersuchung die genaueste Kenntniss der anatomischen Verhältnisse vorausgehen muss, das haben wir auch in dieser Arbeit angestrebt; auch weiter ist es klar, dass die Resultate der physiologischen Untersuchung nicht im Widerspruch mit den anatomischen Befunden stehen dürften, andererseits aber muss auch davor gewarnt werden, die physiologische Function aus den anatomischen Befunden, ohne ausreichende Begründung durch physiologische Versuche, zu construiren.

Der Blutungsdruck kann, wie auch schon von anderer Seite mehrfach hervorgehoben wurde, keinesfalls für die Versorgung eines Holzgewächses ausreichen. Dass er übrigens dies auch bei krautartigen, leicht blutenden Pflanzen nicht vermag, geht aus den schon einmal citirten Angaben von v. Höhnel hervor, dass am Morgen blutende Gräser des Nachmittags bereits

---

1) Zur Kenntniss der osmotischen Leistungen des lebenden Parenchyms, Ber. d. Deut. bot. Gesell., 1883, p. 371.

2) l. c. p. 376.

starken negativen Druck in ihren Gefässbahnen zeigen [1]). Schon aus den Angaben von Hofmeister [2]) war zu entnehmen, dass durch Wurzeldruck weniger Saft geliefert wird, als die Pflanze zu gleicher Zeit verdunstet. Einen allgemeinen Ausdruck fand diese Thatsache in den Arbeiten von Sachs [3]). Sicher ist, dass die Pflanzen nicht allein ohne Wurzeldruck, sondern überhaupt ohne Blutungsdruck ihren Transpirationsbedarf decken können, und hat daher Sachs [4]) mit Recht hervorgehoben, dass innerhalb einer lebhaft transpirirenden Pflanze der Wurzeldruck überhaupt nicht nachzuweisen ist. Wird im Sommer, zur Zeit starker Transpiration, bei trockner Witterung ein Baum gefällt, so blutet sein Stumpf nicht, saugt vielmehr dargebotenes Wasser begierig auf. Blutung aus dem Stumpf pflegt sich in einem solchen Falle, wenn überhaupt, erst weiterhin einzustellen [5]), wenn in Folge aufgehobener Transpiration die Wasserbahnen sich angefüllt haben und nunmehr noch Blutungssaft hinzukommt, der in dieselben eingepresst wird. Das Transpirationswasser ist somit für gewöhnlich ein Bodenwasser, das nur die Zellen der aufnehmenden Wurzeltheile passirt; es wird nur wenig Blutungssaft enthalten, wenn auch solcher vielleicht niemals ganz fehlen wird; abgesehen von der Blutungszeit dürfte aber bei Holzgewächsen Blutungssaft nur bei anhaltend feuchter Witterung in grossen Mengen in die trachealen Bahnen gelangen.

Da das aufgenommene Bodenwasser die lebendigen Zellkörper passiren muss, um bis zu den trachealen Bahnen zu gelangen, so wird dadurch auch verständlich, dass so mannigfache physiologische Vorgänge auf die Wasseraufnahme aus dem Boden einen Einfluss üben. Um eine Beeinflussung der trachealen Saugung kann es sich dabei nicht handeln, vielmehr nur um Reizwirkungen, die sich auf die lebendigen Plasmakörper der

---

1) Beiträge zur Kenntniss der Luft- und Saftbewegung in der Pflanze, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 103.

2) Ueber Spannung, Ausflussmenge und Ausflussgeschwindigkeit von Säften lebender Pflanzen, Flora, 1862, p. 107.

3) Lehrbuch, IV. Aufl., p. 661, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, II. Aufl., p. 257.

4) Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, II. Aufl., p. 257.

5) Vgl. auch Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, Bd. I, p. 117 und Schwendener, Untersuchungen über das Saftsteigen, l. c. p. 575.

Wurzelzellen geltend machen. So steigert eine Erwärmung des Bodens die Wasseraufnahme durch die Wurzeln, ohne dass die Transpirationsgrösse entsprechend zunähme [1]), und kann daher, mit Blutungsdruck combinirt, bis zur Tropfenausscheidung aus den Blättern führen; umgekehrt wird vielfach bei den Pflanzen durch Abkühlung des Bodens die Wasseraufnahme durch die Wurzeln, nicht aber die Transpiration an den Blättern herabgesetzt, was ein Welken der letzteren zur Folge hat [2]). Daher auf nasskaltem Boden ein Vertrocknen der Nadeln junger Kiefernpflanzen, die sogenannte Schüttekrankheit beobachtet wird [3]), „wahrscheinlich, weil bei dieser Temperatur, auch in nassem Boden, der physiologische Process der lebenden Wurzelzellen auf ein Minimum herabsinkt" [4]). Dieses Verhalten sucht neuerdings auch Kihlman [5]) in seinem verdienstvollen pflanzengeographischem Werk über Russisch Lappland zu verwerthen. Die Schutzeinrichtungen gegen zu starke Transpiration, welche die polaren Pflanzen in der Tundra trotz ihres nassen Standorts zeigen, möchte er, zu einem grossen Theile, mit der erschwerten Wasseraufnahme aus dem kalten Boden in Verbindung bringen [6]). Es wäre denkbar, dass selbst in Wasser stehende Gewächse unter solchen Umständen vertrocknen, und darf daher auch nicht zu auffällig erscheinen, dass solche Gewächse einen anatomischen Bau zeigen, der an denjenigen der Wüstenpflanzen vielfach erinnert [7]).

Der Umstand, dass die mit dem Wasser aus dem Boden

---

1) Sachs, Vorl. über Pflanzen-Physiol., II. Aufl., p. 243; vergl. auch Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 135.

2) Sachs, Beiträge zur Lehre von der Transpiration der Gewächse, Bot. Ztg., 1860, p. 125; vergl. auch R. Hartig, Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Unters. aus dem forstbot. Inst.. zu München, III, p. 80.

3) Ebermayer, Die Ursache der Schüttekrankheit junger Kiefernpflanzen, Anhang zu dessen Werk: Die physikalischen Einwirkungen des Waldes auf Luft und Boden etc., 1873.

4) R. Hartig, l. c. III, p. 81.

5) Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Ein Beitrag zur Kenntniss der regionalen Gliederung an der polaren Waldgrenze. Aus den Acta Soc. pro Fauna et Flora fenica, Bd. VI, No. 3, Helsingfors 1890.

6) l. c. p. 87 ff.

7) l. c. p. 105.

aufgenommenen Stoffe den Weg durch die lebendigen Plasmakörper der Wurzelzellen nehmen müssen, vermag auch allein das schon durch de Saussure [1]) festgestellte, qualitative Wahlvermögen der Pflanzenwurzel zu erklären. Würde capillare Saugung das Bodenwasser durch die Wurzelrinde bis in die trachealen Bahnen befördern, so könnte die Auswahl der durch die Wurzel aufgenommenen Stoffe nur durch den Verbrauch an oft weit entlegenen Orten bestimmt sein, eine Annahme, die schwer zu machen ist. So aber, wie die Vorgänge thatsächlich gegeben sind, steht der durch tracheale Saugung angeregte, sich innerhalb der lebendigen Zellkörper fortpflanzende osmotische Wasserstrom unter dem Einfluss der lebendigen Plasmahäute, die fast ausschliesslich nur denjenigen Stoffen den Zutritt zu den Wasserbahnen gewähren, die innerhalb der Pflanze Verwendung finden sollen. Dass nur den Hautschichten der lebendigen Plasmakörper dieser regulirende Einfluss zuerkannt werden kann und thatsächlich auch zuerkannt werden darf, lässt sich durch die osmotischen Untersuchungen von Pfeffer [2]) hinlänglich begründen. Aus den Untersuchungen von Pfeffer geht im Besonderen auch hervor, dass sich die lebendigen Hautschichten der Protoplasten in osmotischer Beziehung nicht gleich zu verhalten brauchen, dass die osmotischen Eigenschaften einer lebendigen Hautschicht sich je nach dem Entwickelungszustande des Zellkörpers und je nach den gegebenen Bedingungen ändern können und dass unter Umständen selbst die einseitige Beförderung eines Stoffes durch die Plasmahäute möglich sei, so zwar, dass er wohl von aussen durch den Plasmakörper bis in den Zellsaft, nicht aber umgekehrt von diesem nach aussen gelangen könne, weil die Plasmahaut alsdann, wie anzunehmen, an ihrer Aussenseite andere Bedingungen als an ihrer Innenseite bietet [3]). Solche Gesichts-

1) Recherches chimiques sur la végétation, 1804, p. 240.

2) Vergl. Osmotische Untersuchungen, 1877, p. 121 ff.; Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 43 ff. Zur Kenntniss der Plasmahaut und der Vacuolen, nebst Bemerkungen über den Aggregatzustand des Protoplasmas und über osmotische Vorgänge, Abhandl. d. math.-phys. Cl. d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wiss., Bd. XVI, p. 279 ff., Leipzig 1890.

3) Zur Kenntniss der Plasmahaut und der Vacuolen, p. 284.

punkte gestatten es sehr wohl, eine Vorstellung von der wechselvollen, den jeweilig vorhandenen Bedürfnissen entsprechenden Thätigkeit der Wurzelzellen zu gewinnen, während dies bei dem Versuch einer Zurückführung des Vorgangs auf capillare Saugung ganz unmöglich ist. Innerhalb desjenigen Abschnittes der Wurzeln, der die Stoffaufnahme aus dem Boden vermittelt, sind die Plasmakörper besonders für die Ausübung ihrer Aufgabe ausgerüstet. Die Fähigkeit, nur gewissen Stoffen den Eintritt in den Plasmakörper und Zellsaft zu gewähren, andere von dem Eintritt auszuschliessen, zeigen die Hautschichten dort in besonders hohem Grade. So auch zeigen sich diese Hautschichten dort äusseren Eingriffen gegenüber besonders resistent. In dieser Weise möchte ich wenigstens die Erscheinung deuten, dass die Wurzelzellen bestimmten Farbstoffen den Eintritt durchaus verwehren, während dieselben Farbstoffe, durch geöffnete Wasserbahnen in die Pflanzen eingeführt, in Holzparenchym- und Markstrahlzellen so leicht Eingang finden. Es scheint in diesem Verhalten somit eine besondere Anpassungserscheinung der die Aufnahme aus dem Boden vermittelnden Wurzelzellen vorzuliegen. Diese Wurzelzellen bedürfen einer Schutzeinrichtung, welche für die im Innern des Pflanzenkörpers eingeschlossenen lebendigen Elemente unter normalen Verhältnissen nicht in Betracht kommen kann. Nun nehmen aber auch lebendige Wurzelzellen manche für die Pflanze gleichgiltige Verbindung, so zum Beispiel Lithiumsalze auf, gewähren auch wohl manchem giftigen Stoffe sofort den Eintritt, doch da dürfte es sich eben um Stoffe handeln, mit welchen normaler Weise die Wurzelzellen nicht in Berührung kommen, gegen welchen sie einen Schutz somit auch nicht erlangen konnten. Auch schliesst ja sicher die Fähigkeit gewissen Stoffen den Eintritt zu gewähren, zugleich diejenige aus, bestimmten anderen ihn zu verwehren. Daraus erklärt sich, dass die Plasmahäute der Wurzelzellen sich auch solchen Stoffen gegenüber verschieden verhalten, mit welchen sie unter natürlichen Verhältnissen nie in Berührung kommen. — Während die lebendigen Plasmahäute der Wurzelzellen ein Wahlvermögen ausüben, filtrirt durch die Zellmembran jede beliebige Salzlösung, darunter somit auch solche, welche lebendige Wurzelzellen energisch zurückweisen. Besonders leicht filtriren alle möglichen Lösungen durch die Schliesshäute der Tüpfel.

Stellt man am unteren Ende entrindete und am Querschnitt verschlossene Zweige in eine Lösung von Kupfersulfat, so wird diese durch die Schliesshäute in die Wasserbahnen ohne weiteres aufgenommen und lässt sich alsbald in allen Blättern nachweisen. Wenn also dieses Salz, so wie viele andere, durch die Wurzel keine Aufnahme findet, so kann das nur an dem Widerstand der lebendigen Plasmahäute liegen. Sind diese aber getödtet worden, so dringen Kupfersulfat und andere Salzlösungen, wie schon Dutrochet bekannt war, in die Wurzelzellen ein, imbibiren dieselben und werden von den trachealen Bahnen aufgesogen.

Es existirt eine ältere Angabe von Burnett [1]), der zufolge Pflanzen, die mit ihren Wurzeln in starke Auflösungen von Gummi oder Zucker tauchen, an der Aufnahme von Wasser nicht verhindert werden sollen. Ich hätte diese Angabe kaum beachtet, wenn nicht Klebs [2]) und Janse [3]) neuerdings gezeigt hätten, dass in plasmolytischen Lösungen die Plasmolyse von Algenzellen wieder zurückgehen kann und diese weiter zu leben vermögen. Klebs beobachtete dies bei Zygnema selbst in 20% Glycerin, wobei letzteres in das Zellinnere aufgenommen wurde. Janse gelang dasselbe mit Meeresalgen und Spirogyren bei Anwendung von Kalisalpeter und Chlornatriumlösung, und konnte er auch den Nachweis führen, dass Kalisalpeter in die Zellen eingedrungen war, das Protoplasma somit für das Salz permeabel gewesen. Aehnliches konnte hierauf Wieler [4]) auch für gesunde Wurzeln von Phaseolus multiflorus, Vicia faba, Helianthus annuus feststellen. Keimpflanzen der genannten Arten wurden mit ihren Wurzeln in 3 bis 16 % Rohrzuckerlösungen gesetzt, worauf sie zunächst welkten. Nach einiger Zeit erholten sie sich aber, erlangten ihre Turgescenz wieder und richteten sich auf. Auch stellten sich weiterhin geotropische Krümmungen

1) On the Motion of Sap in Plants, The Philosoph. Magazine or Annals, Vol. V, London 1829, p. 390.

2) Beiträge zur Physiologie der Pflanzenzelle, Ber. d. Deutsch. bot. Ges. 1887, p. 187, und Unters. aus dem bot. Inst. zu Tübingen, Bd. II, p. 540.

3) Plasmolytische Versuche an Algen, Bot. Centralbl., Bd. XXXII, p. 21.

4) Plasmolytische Versuche mit unverletzten phanerogamen Pflanzen, Ber. d. Deutsch. bot. Gesell. 1887, p. 375.

und Wachsthum ein. Bei 18 % Rohrzuckerlösung ging Phaseolus multiflorus zu Grunde. Pflanzen, die in 14 % Rohrzuckerlösung gestanden hatten, konnten hingegen auch 20 % Rohrzuckerlösung vertragen. Es wurde die Aufnahme von Rohrzucker und so auch, in anderen Versuchen, von Traubenzucker und Salpeter in die Wurzel nachgewiesen. Das Protoplasma der lebenden Wurzelzellen erwies sich für diese Stoffe permeabel, plasmolytische Versuche ergaben zugleich in den Wurzelzellen eine wesentlich höhere Concentration der Lösung, als wie dieselbe den Pflanzen geboten wurde. Das lässt sich, wie ich meine, nur aus der trachealen Saugung erklären, welche somit befähigt war, auch bei relativ so hoher Concentration des Inhalts, den Wurzelzellen Wasser zu entziehen.

Dieselben Gesichtspunkte, die für die Aufnahme des Wassers durch die Wurzelzellen gelten, sind allem Anschein nach auch für die Abgabe des Wassers an die transpirirenden Pflanzenzellen maassgebend. Während aber in den Wurzeln die tracheale Saugkraft der Wasserbahnen dominirt, kommt in den transpirirenden Pflanzentheilen den die Wasserbahnen umgebenden Elementen der stärkere Einfluss zu. Derselbe könnte durch den Transpirationsvorgang selbst bedingt sein, welcher die Concentration des Zellsaftes in den transpirirenden Elementen steigern muss. Da in den transpirirenden Organen gleichzeitig der Sitz der assimilatorischen Thätigkeit ist, so müssen auch die osmotisch wirksamen Stoffe hier besonders reichlich zur Verfügung stehen. So lange die Transpiration anhält, dürfte dieselbe somit auch die Bedingungen schaffen, unter welchen die lebendigen Elemente befähigt werden den trachealen Bahnen Wasser zu entziehen. Hört die Transpiration auf, so tritt naturgemäss ein Stillstand auch in der Entnahme von Wasser aus den trachealen Bahnen ein. Da bekanntlich auf osmotischem Wege das Wasser sich nur langsam fortbewegt, so ist durch sehr reiche Verzweigung der Gefässbündel dafür gesorgt, dass das Wasser gleich durch die ganze Blattfläche vertheilt werde [1]). — Wo die Gefässbündel der Blätter eine feine Vertheilung nicht aufweisen, da wird gewöhnlich besonderes wasserleitendes Gewebe ausgebildet, welches die fehlenden Bündel-

1) Vergl. auch Sachs, Vorles. über Pflanzen-Physiologie, II. Aufl., p. 210.

zweige ersetzt. In diese Kategorie gehören die tracheïdalen Gefässbündelsäume in den Blättern der Coniferen. Gleichzeitig pflegt die Lamina lederartig oder fleischig entwickelt und gegen starke Transpiration geschützt zu sein. — Andererseits ist in den Spaltöffnungen auch derjenigen Pflanzen, die keine anderen besonderen Schutzvorrichtungen aufweisen ein wirksamer Apparat geschaffen, der die Transpiration und damit auch die Zufuhr der im Transpirationswasser vertretenen Stoffe auf das jeweilig erwünschte Maass herabsetzt [1]), damit das auch für Transpirationsvorgänge bestehende Optimum [2]) nicht überschritten werde.

Bei Abnahme der Transpiration kann sich übrigens auch Blutungsdruck in den Mesophyllzellen einstellen und zunächst dahin führen, dass Wasser in besondere Reservoire, so vornehmlich in die Epidermis, eingeführt wird. Unter Umständen können auch besondere Wasserbehälter ausgebildet sein, in welche angrenzende lebende Elemente ihren Ueberschuss an Wasser entleeren. So pressen in den Geweben der Nepenthes-Arten angrenzende lebende Elemente wässrige Flüssigkeit in die todten Spiralzellen hinein, welche diesen Pflanzen eigen sind. Kny und Zimmermann haben festgestellt [3]), dass in den Nepenthesblättern, bei eintretendem Bedarf, das Wasser den Spiralzellen durch die lebendigen Mesophyllzellen wieder entzogen wird, und dass erstere dann luftleer werden, resp. nur Wasserdampf führen.

Die innerhalb der Wurzel in die Wasserbahnen gelangenden Salzlösungen werden nicht unverändert bis zu den assimilirenden Blattflächen geführt, ihnen vielmehr, wie W. Schimper [4]) besonders zeigte, gewisse Bestandtheile schon auf dem Wege entzogen. Es kann dieses nur durch die an die Wasserbahnen grenzenden lebendigen Zellen geschehen, welche die betreffenden

---

1) Vergl. Leitgeb, Beiträge zur Physiologie der Spaltöffnungsapparate, Mitth. aus dem bot. Inst. in Graz, Heft I, 1886, p. 183.

2) Wie solches besonders durch Tschaplowitz nachgewiesen wurde in „Giebt es ein Transpirations-Optimum?“ Bot. Ztg. 1883, Sp. 353.

3) Die Bedeutung der Spiralzellen von Nepenthes, Ber. d. Deutsch. bot. Gesell. 1885, p. 123.

4) l. c. p. 127.

5) Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora 1890, p. 207; dort die übrige Litteratur.

Stoffe den angrenzenden Geweben nach Umständen übermitteln. So zeigen sich bestimmte Gewebe der Pflanze zur Aufnahme und Aufspeicherung bestimmter anorganischer Salze eingerichtet. Diese Salze gelangen zu den in Entwicklung begriffenen Pflanzentheilen entweder auf dem Wege langsamer Diffusion von Zelle zu Zelle, oder indem sie mit dem Blutungssaft in die Wasserbahnen wieder gepresst werden. Da die Entnahme des Inhalts der Wasserbahnen durch die Zellen in den assimilirenden Flächen auf osmotischem Wege vor sich geht, so kann dort auch noch eine Auswahl der gebotenen Stoffe erfolgen. Wir werden weiterhin sehen, dass die assimilirenden Organe jedenfalls auch den Assimilaten, welche aus den Reservestoffbehältern in die Wasserbahnen gepresst werden, die Aufnahme versagen können. — Wie Schimper zeigte, kommt wohl allen Pflanzen in geringerem oder höherem Grade auch die Fähigkeit zu, Salze oder Mineralsalze aufzuspeichern [1]). Unter gewöhnlichen Umständen beschränken aber manche Pflanzen ihre Salzaufnahme ungefähr auf den augenblicklichen Bedarf: so viele Holzgewächse, darunter die Coniferen und Rosaceen. Andere speichern hingegen auch unter solchen Umständen Salze auf und zeigen nach diesem oder jenem Salze eine besondere Begierde. So findet man zum Beispiel lösliche Phosphate in sehr grosser Menge im Parenchym der Blattstiele und Spreiten bei der Rosskastanie, Chloride in den Blattgeweben solcher Holzgewächse, die vornehmlich am Strande wachsen, aber auch solcher von anderem Standort. Anorganische Salze fehlen stets in den Urmeristemen, dem Siebtheil der Gefässbündel, den Milchröhren und Secretbehältern, den Pollenkörnern und Samenanlagen, und kommen im Blattmesophyll nur in geringer Menge vor. Die in diesen Geweben enthaltenen Mineralbasen sind nach Schimper assimilirt, das heisst in organischer Verbindung vertreten [2]). Die grosse Menge der durch die Pflanze aufgenommenen Rohstoffe geht durch die Blätter und kehrt im assimilirten Zustand in die Stammtheile zurück, doch nicht von allen Rohstoffen kann dies nach Schimper gelten. Vor allem hätten wir keinen Grund, dies für saures Kalk- und Kaliphosphat anzunehmen, die sich nach den wachsenden Regionen direct begeben, um dort zur Bildung von

1) l. c. p. 225.
2) l. c. p. 227.

Nucleïn, Kali- und Kalkoxalat u. s. w. Verwendung zu finden [1]). Denn die Phosphorsäure nimmt als solche Theil am Aufbau der organischen Substanz, wird nicht reducirt, während hingegen Salpeter- und Schwefelsäure, ganz ähnlich wie die Kohlensäure, eine Reduction erfahren müssen. Ihre Assimilation ist an Chlorophyll und Licht gebunden. Es wirkt aber aller Wahrscheinlichkeit nach das Chlorophyllkorn nicht bloss bei der Kohlensäure-Assimilation, sondern auch bei derjenigen der Salpetersäure und wohl der Schwefelsäure als reducirendes Organ [2]). Die Assimilation der Phosphorsäure findet dagegen auch ausserhalb der grünen Gewebe und unabhängig vom Licht statt, da sie von der Mitwirkung eines reducirenden Organes nicht direct abhängig ist.

Dass für die Entnahme des Wassers aus den Gefässbündelenden in den Blättern Luftdruckdifferenzen ebensowenig in Betracht kommen, wie für die Entnahme des Wassers aus den Wurzelzellen durch die trachealen Bahnen, haben wir in einem früheren Abschnitt zu zeigen gesucht. Nach dem, was wir jetzt wissen, wären auch die Kräfte, welche der Luftdruck hierzu liefern könnte, in keinem Falle ausreichend.

Gegen zu starken Blutungsdruck, der für krautartige Pflanzen gefahrbringend werden könnte, schützen sich diese Pflanzen durch Ventile, die, als Epitheme und Wasserspalten ausgebildet, ihre Mündungsstellen nach aussen haben. Dem durch solche Ventile austretenden Wasser muss stets Blutungssaft beigemengt sein, da ja ohne diesen ein Hervorpressen von Flüssigkeit aus der Pflanze unmöglich wäre. Dem entsprechend führt auch das ausgepresste Wasser, wie hinlänglich bekannt, stets geringe Mengen von Assimilaten in Lösung. Dass eine passive Durchpressung des Saftes durch die Epitheme, abgesehen von deren activen Leistungen, möglich ist, zeigt der Versuch von Moll [3]), dem es bei künstlichem Druck auf diesem Wege gelang, den Farbstoff von Phytolacca decandra und eine schwache Tanninlösung nach aussen zu befördern. — Bei gewissen Pflanzen werden augenscheinlich diese Stellen auch für Ausschei-

1) l. c. p. 259.
2) l. c. p. 260.
3) Verslagen en Mededeelingen der koningklijke Akad. Amsterdam, 1880, Sep.-Abdr. p. 86, und Ueber Tropfenausscheidung und Injection bei Blättern, Bot. Ztg. 1880, Sp. 52.

dungszwecke benutzt und somit auch die Wasserbahnen in dieser Richtung verwendet. So sammeln sich beispielsweise bei verschiedenen Saxifragen beträchtliche Mengen von kohlensaurem Kalk in den Grübchen über den Epithemen an, in welche Gefässbündelenden münden. Es handelt sich da jedenfalls um die Beseitigung von Kalk, der als Vehikel für andere Stoffe gedient, als solches seine Aufgabe vollbracht hat und hierauf, mit einem anderen Nebenproduct verbunden, in die Wasserbahnen eingeführt wurde.

Als Sicherheitsventile gegen zu hohen Druck innerhalb der Wasserbahnen in unseren Holzgewächsen möchte ich auch die fast punktförmigen Tüpfel ansehen, welche wir vereinzelt an den Wänden zwischen Gefässen und Holzfasern bei Tilia, Hedera, Vitis und andern Hölzern fanden. Ich habe auf das Vorhandensein solcher Tüpfel im anatomischen Theile dieser Arbeit hingewiesen. Dieselben dürften, ihres geringeren Durchmessers wegen, nur bei sehr hohem hydrostatischen Druck functioniren.

Dass die Transpirationsvorgänge in physiologischer Beziehung ebenso regulirt sind wie die Aufnahmevorgänge aus dem Boden, und dass beide Vorgänge in correlativer Wechselwirkung stehen, ist hinlänglich bekannt [1]). Ich verweise auf die Behandlung, welche dieser Gegenstand in Pfeffer's Pflanzenphysiologie [2]) und in Sachs' Vorlesungen über Pflanzenphysiologie erfahren hat [3]).

1) Vgl. vornehmlich auch Sachs, Ueber den Einfluss der chemischen und physikalischen Beschaffenheit des Bodens auf die Transpiration der Pflanzen, Landw. Versuchsst., Bd. I, 1859, p. 203 ff.; dann Burgerstein, Untersuchungen über die Beziehungen der Nährstoffe zur Transpiration der Pflanzen, Stzbr. d. Wiener Akad. d. Wiss., Math.-phys. Cl., Bd. LXXIII, 1876, p. 191, und Bd. LXX, III, 1879, p. 607; Th. Hartig, Luft-, Boden- und Pflanzenkunde in ihrer Anwendung auf Forstwirthschaft und Gartenbau, 1877, p. 263, und in älteren Schriften; Vesque, De l'absorption de l'eau par les racines, dans ses rapports avec la transpiration, Ann. d. sc. nat. Bot. 1877, VI. Sér., T. IV, p. 89; De l'influence de la température du sol sur l'absorption de l'eau par les racines, Ebendas. T. VI, 1878, p. 169; De l'influence des matières salines sur l'absorption de l'eau par les racines, Ebendas. T. IX, 1878, p. 5; R. Hartig, Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Unters. aus dem forstbot. Inst. zu München, III, p. 81.

2) Bd. I, p. 146 ff.

3) l. c. II. Aufl., p. 227 ff.

Erschwerte Wasseraufnahme durch die Wurzeln setzt die Transpirationsgrösse herab. Es lässt sich das aus der negativen Spannung erklären, die sich unter solchen Umständen in den Leitungsbahnen einstellt und die wohl als specifischer Reiz auf die den Leitungsbahnen Wasser entziehenden Zellen einwirkt. So drückt auch zu hohe Concentration einer aufzunehmenden Lösung die Transpiration herab, weil dieselbe, so gut wie ein relativ wasserarmer Boden, die Wasserversorgung erschwert.[1]). Schimper[2]) hat dies neuerdings durch neue Untersuchungen sichergestellt und diese Erfahrung mit verwerthet, um das Vorhandensein der Schutzmittel gegen zu starke Transpiration zu erklären, welche Pflanzen aufweisen, die auf salzreichem Boden wachsen.

R. Hartig[3]) kommt andererseits zu dem Schlusse, dass, während die Verdunstungsgrösse von der Wasseraufnahme beeinflusst wird, umgekehrt die Transpirationsgrösse ohne Einfluss auf die Wasseraufnahme sei. In dieser allgemeinen Fassung dürfte die letzte Behauptung sich nicht halten lassen. Durch die Transpiration wird den Leitungsbahnen Wasser entzogen, solches rückt von rückwärts nach. In der ganzen Bahn macht sich ein Spannungszustand geltend, der schliesslich zur Wasseraufnahme an denjenigen Orten führt, an welchen Wasser zur Verfügung steht. Fehlt es an dem nöthigen Wasser in der Umgebung, so werden immer mehr Leitungsbahnen entleert und abgeschlossen; es wächst die Spannung in dem ganzen System und führt zu correlativen Wirkungen, welche auch die Transpirationsgrösse herabsetzen. Andererseits ist aber die Transpiration ohne Einfluss auf die Wasseraufnahme aus dem Boden, insoweit als letztere fortdauert, auch wenn die Transpiration aufgehört hat. Die auf trachealer Saugung beruhende Wasseraufnahme aus dem Boden kann dann fortdauern, bis dass die Bahn mit Wasser gesättigt ist; Blutungsdruck wird dann aber erst, wie wir ge-

1) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 151. Dort die zugehörige Litteratur, vornehmlich Burgerstein l. c.

2) Ueber Schutzmittel des Laubes gegen Transpiration, besonders in der Flora Javas, Stzber. der Akad. d. Wiss. zu Berlin, Bd. XL, 1890, p. 1046.

3) Zur Lehre von der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen, Untersuchungen aus dem forstbot. Inst. zu München, III, p. 85.

sehen haben, durch das Eingreifen eines zweiten Vorgangs, des activen Hineinpressens von Wasser in die Leitungsbahnen durch die Belegzellen, bedingt.

Bei allen meinen Versuchen, in welchen giftige Substanzen den Pflanzen durch den Querschnitt zur Aufnahme geboten wurden, musste es auffallen, wie die Tödtung der transpirirenden Organe fast unmittelbar die weitere Aufnahme der gebotenen Flüssigkeit herabsetzte, ja unter Umständen fast ganz sistirte. Mit der Tödtung der Zellen wird eben deren Leistungsfähigkeit zerstört, und dieselben somit auch in die Unmöglichkeit versetzt, den Gefässbündelenden Flüssigkeit zu entziehen. Da in getödteten Blättern andererseits die Verdampfung gesteigert wird[1]), so trocknen dieselben ausserordentlich rasch aus. Die Tödtung der Belegzellen im ganzen Verlauf der Leitungsbahnen sistirte hingegen den Aufstieg der Flüssigkeiten nicht. Selbst Alcohol konnte unter Umständen vorzüglich bis zu bedeutender Höhe emporsteigen; seine weitere Aufnahme durch den Querschnitt hörte erst dann auf, wenn er die Blätter erreicht hatte.

Tracheale Saugung von der einen, osmotischer Druck von der anderen Seite wirken zusammen, um die Schliesshäute der einseitig behöften Tüpfel, durch welche die trachealen Elemente mit den angrenzenden lebendigen Zellen communiciren, in das tracheale Element hinein zu wölben. So orientirt findet man, wie schon Russow[2]) hervorgehoben hat, die Schliesshäute dieser Tüpfel stets im lebendigen, functionirenden Holze.

Der Umstand, dass die von den trachealen Bahnen ausgehende Saugung einerseits, Blutungsdruck andererseits, nicht auf die Wurzel beschränkt sind, sondern an jeder anderen Stelle des Pflanzenkörpers sich geltend machen können, erklärt auch eine sonst auffällige Erscheinung. Es ist bekannt, dass Theile eines Weinstockes, die, in Verbindung mit dem Mutterstock bleibend, während des Winters in ein Gewächshaus eingeführt, ihre Knospen entfalten, auch wenn die draussen befindlichen Theile, sammt Wurzeln, hart gefroren sind. Das nöthige Wasser für die Entwicklung der Knospen und zur Deckung der Transpiration der Blätter erhalten alsdann die trachealen

---

1) Vergl. Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, Bd. I, p. 146.

2) Zur Kenntniss des Holzes, insonderheit des Coniferenholzes, Bot. Centralbl., Bd. XIII, p. 169.

Bahnen aus den wasserreichen Gewebstheilen ihrer Umgebung. Bei dem Wasserreichthum des Holzkörpers im Winter finden sie einen ansehnlichen Wasservorrath innerhalb des in das Gewächshaus eingeführten Stammtheiles vor und können längere Zeit mit demselben auskommen, vorausgesetzt dass die Luft des Gewächshauses feucht und die Transpirationsgrösse hierdurch hinreichend herabgesetzt wird. Senebier[1]) giebt auch schon an, dass Rosenstöcke, deren einzelne Zweige im Winter in ein Gewächshaus hineingeleitet wurden, sich mit Blättern und Blüthen bedecken, während die Theile draussen in gefrorener Erde stehen. Umgekehrt, fügt er hinzu, bleibt auch der Zweig eines im Gewächshaus stehenden blühenden Rosenstockes, der im Winter ins Freie hinausgeführt wurde, ohne Blätter und Blüthen. Es ist klar, dass für den Weinstock wie für die Rosenstöcke, die ihre Triebe im Innern des Gewächshauses entfaltet haben, schliesslich Wassermangel eintreten muss, wenn ihre ausserhalb des Gewächshauses befindlichen Theile zu lange gefroren bleiben. So habe ich auch beobachtet, dass bei anhaltendem Kahlfrost und hellem, klarem Wetter, welches die Verdunstung activiren musste, die zuvor sehr wasserreichen trachealen Bahnen unserer Holzgewächse immer luftreicher werden.

Wir haben schon wiederholt darauf hingewiesen, dass die engeren Elemente der trachealen Bahnen den weiteren das Wasser zu entziehen vermögen und um so energischer dasselbe festhalten, je enger sie sind. Auf diesem Verhalten beruht die Möglichkeit der Benutzung weiterer Gefässe als Wasserbehälter, und durch dieses Verhalten wird auch erklärt, warum die letzten Auszweigungen der Gefässbündel besonders englumig sind. Thatsächlich haben wir in Folge dessen diese letzten Gefässbündelverzweigungen in nicht welken Blättern stets mit Wasser erfüllt gefunden. — Doch nicht allein diese extremen Beziehungen lassen sich in solcher Weise aus den Eigenschaften der trachealen Bahnen ableiten, sondern auch, wie mir scheint, die so allgemeine, wenn auch nicht immer gleich stark ausgeprägte Erscheinung, dass das Holz jüngerer Stammtheile englumiger als die äusseren Jahresringe der älteren ist. Da es nun die äusseren Jahresringe der älteren Stammtheile sind, die sich in

1) Physiologie végétale, Bd. IV, p. 124.

die Jahresringe der jüngeren und durch diese bis in die Gefässbündelenden der Blätter fortsetzen, so ist hierdurch eine stätige Abnahme der Weite in den Wasserleitungsbahnen der Pflanzen gegeben. Die Länge der Elemente ist hierbei natürlich nicht maassgebend, sondern die Weite, und deren Abnahme ist es ja, die auf Querschnitten besonders in die Augen fällt. Nach den von Sanio [1]) vorgenommenen Messungen sinkt bei der Kiefer die mittlere Breite der Tracheïden von den älteren Jahresringen nach den jüngeren zu, somit auch in demselben Jahresring von unten nach oben, von ca. 0,03 bis auf 0,01. Für die Laubhölzer fehlt es an gleich eingehenden Breitenmessungen, doch lehrt schon der erste Blick auf Querschnitte, die man jungen Stammtheilen und der Peripherie alter Stämme entnommen hat, dass die Unterschiede gross sind. Für das Holz der Rothbuche könnten die beiden Bilder verglichen werden, die R. Hartig [2]) publicirt hat, und von welchen das eine dem 140. Jahresringe, das andere einem sechsjährigen Stamme entnommen ist. Ganz allgemein gab bereits Th. Hartig [3]) an, dass „das Holz jüngerer Pflanzen und jüngerer Baumtheile, daher auch das innere Holz älterer Baumtheile, von $^1/_4$—$^1/_3$ engere Holzröhren als das jüngere Holz älterer Baumtheile hat". Eine entsprechende Angabe machte dann Sanio [4]) und belegte auch dieselbe durch eine Anzahl an Gefässen ausgeführter Messungen. — Diese Zunahme der Weite wasserleitender Elemente setzt sich auch wohl nach abwärts, mehr oder weniger deutlich in den secundären Zuwachs der Wurzel fort. Besonders auffällig ist diese

---

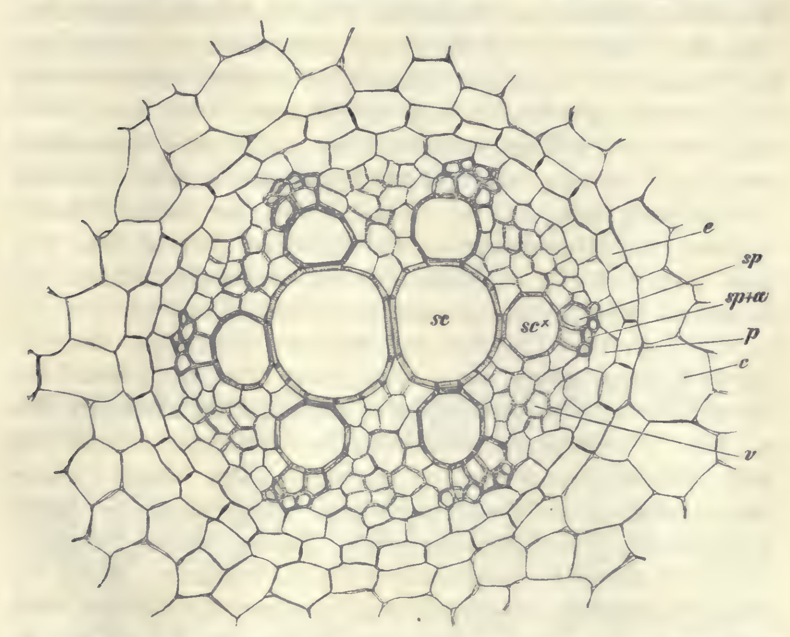
1) Ueber die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VIII, p. 401. Die Angaben über Vergrösserung der Elementarorgane des Holzes der Laubhölzer in dem zweiten Aufsatz von Sanio, Ueber die Anatomie der gemeinen Kiefer, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX, p. 52, Anm., und p. 124, beziehen sich fast nur auf Längenmaasse und können hier daher nicht verwandt werden.

2) Das Holz der Rothbuche, p. 21 u. 24. Auch Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Forstgewächse, 1891 (Anfang December 1890 erschienen) p. 288.

3) Vollständige Naturgeschichte der forstlichen Kulturpflanzen Deutschlands, 1851, p. 207.

4) Vergleichende Untersuchung über die Elementarorgane des Holzkörpers, Bot. Ztg., 1863, p. 396.

Erscheinung in den Coniferen-Wurzeln. Die Tracheïden tragen dort, meist im Gegensatz zum Stamme, mehrere Hoftüpfelreihen und drängen so unmittelbar die Vorstellung einer grösseren Weite auf. Allgemein für die Wurzeln ist ein bedeutender Durchmesser der Elemente von Schacht [1]) angegeben und hierauf eingehend von H. v. Mohl [2]) begründet worden. — Im Widerspruch hierzu scheint nun aber zu stehen, dass die



Querschnitt aus der Basis einer kräftigen, nicht zu alten Adventivwurzel von Allium Cepa. *c* Rinde, *e* Endodermis, *p* Pericykel, *a* Ringgefässe, *sp* Schraubengefässe, *sc* und *sc** Treppengefässe, *v* Siebtheil. Vergr. 240.

primären Gefässtheile der Wurzeln englumige Elemente im Gefässtheile enthalten. Da muss nun Zweierlei auseinandergehalten werden, die engen Tracheïden, mit welchen die Gefässstrahlen nach aussen abschliessen, und die weiteren, zum Theil sehr weiten Tracheïden und Gefässe, in welche diese Strahlen sich nach innen fortsetzen. An dieses Verhältniss mag der beigefügte Querschnitt erinnern, den ich meinem botanischen

1) Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Gewächse, Bd. II, p. 174.

2) Einige anatomische und physiologische Bemerkungen über das Holz der Baumwurzeln, Bot. Ztg., 1862, p. 237, 275, 294.

Practicum entnehme [1]). Die engen Gefässe der Peripherie, die zuerst angelegt werden und die in Function treten, bevor der betreffende Abschnitt der Wurzel Wasser aus der Umgebung aufzunehmen beginnt, dienen eben zunächst dazu, das Wasser nach der Wurzelspitze zu führen und die im Wachsthume befindlichen Theile zu versorgen. Sie müssen somit auch entsprechend enger sein als diejenigen Wasserbahnen, denen sie Wasser entziehen sollen. Die weiteren Gefässe werden ausgebildet, wenn die Wurzel in ihre eigentliche Function tritt, den Stamm mit Wasser zu versorgen. Dass diese Aufgabe den weiteren trachealen Bahnen der primären Gefässtheile der Wurzel zufällt, wird recht augenscheinlich zu Beginn des secundären Zuwachses bei den mit Dickenwachsthum versehenen Wurzeln der Gymnospermen, der Dicotylen und auch der wenigen Monocotylen. Bei Gymnospermen und Dicotylen fällt es ohne weiteres auf, dass der Anschluss für die secundären Gefässe des Zuwachses nicht an den engsten äussersten Elementen, sondern an den mehr nach innen zu befindlichen, weitlumigen der primären Gefässstrahlen liegt. Schon der Umstand, dass das Cambium für diesen secundären Zuwachs an der Innenseite der mit den Gefässstrahlen alternirenden Siebtheile ausgebildet wird, bedingt einen solchen Anschluss. Die jungen Seitenwurzeln müssen aber bei ihrer Anlage wiederum an die engen peripherischen Tracheïden ansetzen, da sie zunächst Wasserzufuhr für die sich entwickelnden Theile verlangen, bevor sie selbst in Function treten können. — Unter Umständen wird aber auch den engen trachealen Bahnen der Wurzel Wasser durch die weiteren entzogen werden, wenn die ersteren mit Wasser stark angefüllt sind, während sich in letzteren Wassermangel einstellt. Der Vorgang wird dann der nämliche sein, wie bei der Füllung weiterer Wasserbehälter im Stamme, bei reichlicher Wasserzufuhr von engeren Bahnen aus. Auch dürften sicher die engen trachealen Bahnen unter Umständen, wenn die Ansprüche der Wurzelspitzen sich nicht geltend machen, Wasser aufwärts befördern. Dass ja die trachealen Bahnen in beiden Richtungen gleich gut leiten können, ist uns bekannt. Wo weitlumigere Bahnen in aufsteigender Richtung die Fortsetzung von englumigeren bilden, wie das in den Gefäss-

---

1) II. Aufl., p. 181.

bündeln derjenigen Moncotylen, die zu dem Typus der Gramineen und Palmen gehören, stets der Fall ist, da müssen verschiedene Combinationen englumigerer und weitlumigerer Tracheen und Tracheïden dafür sorgen, dass die Leitung in entsprechenden Richtungen sich auch bei eintretendem Wassermangel vollziehe. Das im Einzelnen klarzulegen, wird Aufgabe späterer Untersuchungen sein; im Allgemeinen sind aber bereits die Anknüpfungspunkte für die Behauptung gewonnen, dass der Aufbau der Wasserbahnen aus verschiedenartig verdickten, verschiedenartig mit einander verbundenen und verschieden weiten Elementen darauf hinausgeht, die Thätigkeit dieser Bahnen unter allen Umständen in einer den Bedürfnissen der Pflanze entsprechenden Weise zu sichern.

Inanspruchnahme der Wasserbahnen für Leitung der Assimilate.

Das Bild, welches wir von den Functionen der Wasserbahnen gewonnen haben, bliebe unvollständig, wenn wir deren Betheiligung an der Leitung der Assimilate unberücksichtigt lassen wollten.

Dass die Wasserbahnen im Frühjahr für die rasche Beförderung der Kohlehydrate aus grösseren Entfernungen zu den sich entfaltenden Knospen benutzt werden, folgt bereits aus den Versuchen von Th. Hartig, den Angaben von Sachs, aus den Analysen des Blutungssaftes, der von Alfred Fischer constatirten Füllung der Wasserbahnen mit Zucker, sowie aus dessen weiteren Untersuchungen.

Die hier maassgebenden Versuche von Th. Hartig stammen bereits aus dem Jahre 1858 [1]). Armesdicke Eichen wurden 4 Fuss über dem Boden bis auf den Holzkörper 2 Zoll breit geringelt. Für gewöhnlich störte diese Verwundung die nor-

---

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1858, p. 338.

male Fortbildung aller über der Ringwunde befindlichen Baumtheile nicht. Diese Baumtheile sterben zwar früher oder später unfehlbar ab, aber nicht eher, meint Hartig, als bis das allmähliche Austrocknen des entblössten Holzcylinders die Säfteleitung in demselben unmöglich gemacht hatte. Dieses Austrocknen nimmt aber oft viele Jahre in Anspruch. Die Untersuchung der geringelten Bäume wurde in dem auf die Ringelung folgenden Jahre vorgenommen. In allen vor dem 30. Juni geringelten Bäumen war der reiche Stärkemehlgehalt auch aus den unter der Ringwunde befindlichen Stammtheilen und der Wurzel vollständig verschwunden, neues Stärkemehl hatte sich dort aber im Laufe des Sommers nicht gebildet. Die Ableitung der Stärke aus den unteren Baumtheilen konnte nur in dem geringelten Holzcylinder vor sich gegangen sein, wohl als Glycose, gelöst in dem aufsteigenden rohen Nahrungssafte. Da der Holzcylinder der Eiche longitudinal verlaufendes Holzparenchym besitzt, so wäre ja immerhin der Einwand möglich, dass die Ableitung der unter der Ringwunde befindlichen Stärke durch Vermittlung dieses Parenchyms vor sich gegangen sei. Dieser Annahme stehen aber von vornherein sehr gewichtige Bedenken entgegen. Zwar fand Westermaier[1]) in zwei- bis dreijährigen Zweigen von Quercus pedunculata, die er geringelt hatte, dass der Gerbstoff aus seiner absteigenden Bahn innerhalb der Rinde ein wenig in den Holzkörper durch die Markstrahlen einlenkte und sich dann in den „longitudinal leitenden Holzparenchymzellen" bewegte, Stärke war aber an der Ringelungsstelle in diesen Holzparenchymzellen „ganz spärlich oder gar nicht nachweisbar". Auch geht ja aus den Th. Hartigschen Versuchen hervor[2]), dass eine Wiederfüllung der unter der Ringwunde befindlichen, von Stärke entleerten Stammabschnitte mit Stärke nicht wieder erfolgt war. Die Kohlehydrate, welche durch Vermittlung des Bastkörpers am Stamm abwärts geführt werden, können sicher nicht in irgendwie erheblichen Mengen innerhalb des Holzkörpers befördert werden, wenn die Rindenleitung eine Unterbrechung erfährt. Das giebt auch

1) Neue Beiträge zur Kenntniss der physiologischen Bedeutung des Gerbstoffes in den Pflanzengeweben, Sitzber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1887, p. 133.

2) l. c. p. 339.

auf das Bestimmteste Lecomte [1]) an. Die Ringelungsversuche, die er ausführte, zeigten ihm, dass „das Mark und die Markstrahlen durchaus unbefähigt sind, Stärke in der Längsrichtung eines Organes zu leiten, dass aber wohl in jeder gegebenen Höhe des Organs die Markstrahlen den Uebergang der ternären Substanzen aus der Rinde in das Mark und umgekehrt gestatten“.

In allen nach dem 30. Juni geringelten Eichen hatte Th. Hartig [2]) Stärkemehl in um so grösserer Menge und in um so grösseren Körnern unter der Ringwunde vorgefunden, je später die Ringelung vorgenommen worden war. Die am 10. August und später geringelten Stämme enthielten den vollen Stärkemehlgehalt. Alles dieses Stärkemehl in den nach dem 30. Juni geringelten Bäumen stellte bereits neu abgelagerten Reservestoff vor, wie sich besonders klar im folgenden Jahre zeigte, wo diese Stärke abgeleitet wurde, ohne durch neue ersetzt zu werden.

Aus den Ergebnissen dieser seiner Versuche zieht Th. Hartig bereits den ganz richtigen Schluss, dass die im aufsteigenden „Rohsafte“ gelösten Reservestoffe mit dem aufsteigenden „Frühsafte“ den oberen Baumtheilen zugeführt und auf den Zuwachs derselben verwendet werden [3]).

Ebenso gelangte Sachs [4]) auf Grund eingehender Untersuchungen zu dem Resultate, dass bei den ausdauernden Holzpflanzen „die in den Blättern bereitete Stärke, durch die Parenchymschichten des Blattstiels und der Rinde fortgeleitet, später in die Markstrahlen übertritt und sich von hier aus in die Holzzellen und ins Holzparenchym verbreitet“ . . ., dann „innerhalb des Holzkörpers selbst aufgelöst und in diesem dem Orte ihrer Bestimmung zugeführt, indem ihr Lösungsproduct mit dem aufsteigenden Rohstoffe zu den Knospen hinaufgetrieben wird“. Dieser Vorgang spielt sich nach Sachs nur im Frühjahr ab und stellt eine besondere Adaptation dar, welche es

1) Contribution à l'étude du liber des Angiospermes, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. Sér., T. X, p. 303.

2) l. c. p. 338.

3) l. c. p. 338.

4) Ueber die Leitung der plastischen Stoffe durch verschiedene Gewebsformen, Flora 1863, p. 66.

gestattet, dass grosse Mengen der im Holze niedergelegten Reservestoffe den sich entfaltenden Knospen zugeführt werden.

Dass der bei so zahlreichen Holzgewächsen im Frühjahr beobachtete Blutungssaft stets Kohlehydrate in Lösung hält, ist hinlänglich bekannt[1]). Im Blutungssaft des Ahorns (Acer platanoides) hat Schröder im Maximum 3,71 %, im Minimum 1,15 % Rohrzucker, im Blutungssaft der Birke im Maximum 1,92 %, im Minimum 0,34 % Fruchtzucker gefunden[2]). Schröder sprach bereits die Ansicht aus[3]), dass der Zucker des Blutungssaftes von der im Stamme abgelagerten Stärke abzuleiten sei.

Aus den anatomischen Thatsachen geht nach Haberlandt[4]) so viel hervor, „dass entweder das Holzparenchym und die Markstrahlen an der Leitung des Wassers, oder umgekehrt die Gefässe und Tracheïden an der Leitung der Kohlehydrate betheiligt sind; da sich diese beiden Beziehungen“, meint Haberlandt, „gegenseitig nicht ausschliessen, so ist es immerhin möglich, ja wahrscheinlich, dass sie in Wirklichkeit beide zur Geltung kommen“. Mit grösserer Sicherheit liesse sich aber behaupten, dass im Wasserleitungssystem zu gewissen Zeiten auch die Translocation gelöster Kohlehydrate vor sich geht. Haberlandt glaubt sich hierbei auf einen Versuch von Paul Schulz[5]) stützen zu dürfen. P. Schulz bohrte aus 2,5—3 cm dicken Zweigen von Aesculus Hippocastanum, deren Blüthenknospen eben aufbrachen, das Mark ungefähr 8 cm weit heraus und steckte ein Glasröhrchen in die Höhlung. Nachdem die Schnittfläche mit Siegellack luftdicht abgeschlossen war, wurde das Röhrchen mit 1-procentiger Tanninlösung gefüllt und in ein

1) Vergl. vornehmlich die Zusammenstellung in Pfeffer's Pflanzenphysiologie, Bd. I, p. 162, ausserdem eine neuere Arbeit Hornberger's, Beobachtungen über den Frühjahrssaft der Birke und Hainbuche, Forstliche Blätter 1887, referirt und mit Anmerkungen versehen von C. Kraus in Bot. Centralbl., Bd. XXXIII, p. 227.

2) Beitrag zur Kenntniss der Frühjahrsperiode des Ahorn, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VII, p. 261. Zusammenfassung, p. 293.

3) l. c., p. 271.

4) Physiol. Pflanzenanatomie, p. 365.

5) Das Markstrahlgewebe und seine Beziehungen zu den leitenden Elementen des Holzes, Jahrb. d. bot. Gart. zu Berlin, Bd. II, p. 230.

die gleiche Flüssigkeit enthaltendes Gefäss gestellt. Die Knospen brachen bald auf, entfalteten ihre bereits angelegten Blätter, während neue nicht entstanden, auch fand kein Wachsthum der vorhandenen statt, doch blieben diese frisch, ein Zeichen, dass das Leben des Zweiges nicht erlosch. Zehn bis vierzehn Tage nach Beginn des Versuches wurde die mikroskopische Untersuchung der Aeste vorgenommen. Nach Zusatz von Eisenchlorid färbten sich blos die Gefässe und einige sie berührende Holzparenchym- und Markstrahlzellen schwarz. Die Gerbsäure war noch in einer Höhe von einem Meter und darüber nachzuweisen. Paul Schulz schliesst aus diesem Versuch, dass nur die Markstrahlen und das Holzparenchym an der Fortleitung der Lösung betheiligt waren [1]). „Von der Markregion", meint Paul Schulz, „wo die Flüssigkeit mit dem Holz in Berührung stand, drang die Lösung durch die Zellen des Markstrahls in die Holzparenchymzellen, vermöge der endosmotischen Kräfte derselben; aus einer Zelle trat das Tannin in die nächste über und wurde dabei in die Gefässe durch die Poren hindurchgepresst; dort vermischte es sich mit dem in diesen befindlichen Wasser." Aehnlich folgert zunächst auch Haberlandt [2]). „Die Tanninlösung", schreibt er, „musste demnach, da die Gefässe mit derselben nicht in Berührung standen, in das Holzparenchym und die Markstrahlen osmotisch eingedrungen sein; von diesen aus wurde sie dann in die Lumina der Gefässe gepresst." „Das Ergebniss dieses Versuches", fügt er dann hinzu, „berechtigt uns demnach zu der auch mit anderen Thatsachen in Einklang stehenden Annahme, dass im Frühjahre, wenn sich die im Holzparenchym und in den Markstrahlen aufgespeicherte Stärke in Zucker verwandelt, die Zuckerlösung in das wasserleitende Röhrensystem osmotisch hineingepresst wird und in demselben mit dem Transpirationsstrom in die wachsenden Blätter gelangt." So weit auf den Paul Schulz'schen Versuch gestützt, war aber die Schlussfolgerung nicht berechtigt, da thatsächlich, wie sich zeigen lässt, bei diesem Versuch die Tanninlösung in die Gefässe hineingesogen und nicht hineingepresst wurde. Wie überhaupt 1 $^0/_0$ Tanninlösung, welche den lebendigen Zellleib äusserst rasch angreift, einen osmotischen Vorgang in der

1) l. c. p. 231.
2) l. c. p. 365.

Pflanze, der unter die Herrschaft lebendiger Elemente gestellt wird, veranschaulichen sollte, ist nicht ganz ersichtlich. Ich habe den Paul Schulz'schen Versuch mit 1,20 bis 1,50 cm langen Zweigen von Aesculus Hippocastanum wiederholt, indem ich die Zweige zum Theil nur im Mark, zum Theil mit absichtlicher Heranziehung des Holzkörpers, anbohrte. Drei belaubte Zweige, 1,20 m, 1,40 m und 1,55 m lang, wurden 6 cm tief nur im Mark angebohrt, hierauf 6 cm lange Glasröhrchen 2 cm tief in die Bohrstelle gesteckt und mit Siegellack die ganze Querschnittsfläche abgeschlossen, sowie die Glasröhrchen befestigt. Die Röhrchen füllte ich mit 1 % Tanninlösung und stellte die Zweige in dieselbe Lösung ein. Alle drei Zweige begannen am dritten Tage zu welken. Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass das Mark allein in allen drei Zweigen angebohrt worden war. Die Gefässe des Holzkörpers hatten sich vorwiegend mit Luftblasen angefüllt, waren aber nicht wasserfrei. Tannin liess sich weder in den Holzsträngen, noch in den Markstrahlen nachweisen. Nur die nächste Umgebung der ausgebohrten Höhlung im Mark führte Tannin. Eine merkliche Aufnahme von Tanninlösung aus dem Versuchsgefässe hatte nicht stattgefunden. Anders das Resultat, sobald beim Bohren auch nur einzelne Stellen des Holzkörpers berührt und so Wasserbahnen blosgelegt worden waren. Ein Zweig von 1,20 m Länge, in welchem das Bohrloch seitlich die Gefässtheile erreichte, nahm in eben solcher Weise wie die vorhergehenden Zweige präparirt, in 48 Stunden 76 ccm Tanninlösung auf. Die Blätter begannen jetzt vom Rande aus dürr zu werden, doch ohne zu welken. Die mikroskopische Untersuchung ergab, nach der Behandlung der Schnitte mit Eisenchloridlösung, starke schwarzblaue Niederschläge in zahlreichen Gefässen, sowie die gleiche Färbung in den sie umgebenden Geweben. Die Markstrahlen reagirten auch sehr stark, doch war aus der Vertheilung der Reaction leicht zu entnehmen, dass die Markstrahlen von den Gefässen, nicht umgekehrt diese von den Markstrahlen die Tanninlösung empfangen hatten. Das Verhältniss war ein ähnliches, wie sonst bei der Färbung von Markstrahlen in Zweigen die Farbstofflösung durch den Querschnitt aufgenommen hatten.

Mit Recht weist hingegen Haberlandt [1]), um die Annahme

---

1) l. c. p. 366.

zu stützen, dass Gefässe und Tracheïden an der Leitung der Kohlehydrate betheiligt seien, darauf hin, dass der Blutungssaft verschiedener Bäume zuckerhaltig sei, und dass der Zucker dieses Saftes nur aus dem im Winter Stärke speichernden Holzparenchym und aus den Markstrahlen stammen könne. So wie im Sommer, meint Haberlandt, das Wasser mit dem gelösten Nährsalze vom Parenchym der functionirenden Wurzeln in das leitende Röhrensystem gepresst werde, und von hier aus als Transpirationswasser in die assimilirenden Blätter gelange, ebenso werde im Frühjahr gelöstes plastisches Baumaterial aus dem Holzparenchym und den Markstrahlen in das Wasserleitungssystem gepresst, um in demselben viel rascher, als es im Leitparenchym auf rein osmotischem Wege möglich wäre, den wachsenden Laub- und Blüthensprossen zugeleitet zu werden. Wir hätten es hier also mit einer Nebenfunction des Wasserleitungssystems zu thun, welche allein die rasche Entfaltung der Laub- und Blüthenorgane im Frühjahre ermöglicht.

Von besonderer Bedeutung für die obschwebende Frage war der von Alfred Fischer geführte Nachweis, dass Glycose in dem Holzkörper unserer Holzgewächse, und zwar innerhalb der todten Leitungsbahnen derselben während des Winters sich ansammelt [1]). Bemerkt werde, dass dieser Zuckergehalt im Wintersafte verschiedener Holzgewächse auch schon Th. Hartig aufgefallen war. In seiner Luft-, Boden- und Pflanzenkunde [2]) finde ich unter anderem die Anmerkung, dass die Wintersäfte bei verschiedenen Holzarten einen $^1/_4$ bis 7 $^0/_0$ des Saftes betragenden, syrupartigen Rückstand lassen, „aus dem sehr verschiedene Krystallformen verschiedener Zucker- und Gleisarten ausscheiden". „Am zuckerreichsten ist der Wintersaft der Weiden und der Pappeln, nächst diesem der der Nadelhölzer." Den betreffenden Holzsaft erhielt Th. Hartig in der Weise, dass er frisch gefällte Stammstücke mit einer 1—1$^1/_2$ m hohen Glasröhre luftdicht verband und den Holzsaft mit einer entsprechend hohen Wassersäule austrieb. — Seiner ersten Mittheilung liess Alfred Fischer [3]) neuerdings ausführliche Angaben folgen, die

1) Glycose als Reservestoff der Laubhölzer, Bot. Ztg., 1888, Sp. 405.

2) 1877, p. 250, Anm.

3) Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII, p. 73.

an dieser Stelle noch einschalten zu können, mir sehr willkommen war. Die Untersuchung erstreckte sich neuerdings über die sämmtlichen Jahreszeiten [1]). Es erwiesen sich die Wasserbahnen einer Anzahl von Holzgewächsen auch im Sommer (Juni bis September) als glycosereich, andere als ziemlich glycosereich, noch andere als glycosearm, endlich auch welche als glycosefrei. Die Zahl der glycosereichen Arten überwog, soweit als die Untersuchung reichte, die anderen; glycosefrei zeigten sich im Ganzen nur zwei Arten. Die untersuchten Coniferen waren sehr glycosereich und liessen sich den glycosereichsten Laubhölzern anschliessen. Unter diesen zeichneten sich die Amentaceen und Acer dasycarpum besonders aus. In den glycosereichen Hölzern bildet sich in allen Gefässen der Oxydulniederschlag, man sieht diese Gefässe als rostfarbige Röhren die übrige Masse des Holzes durchziehen. Die Holzfasern enthalten in den meisten Fällen entweder gar keine oder nur hier und da spärliche Niederschläge. Eine Ausnahme bilden, nach A. Fischer, die Holzfasern von Pirus Malus und Prunus avium. Diese Ausnahme ist thatsächlich aber nicht eine solche, da, wie wir aus dem anatomischen Theil dieser Arbeit wissen, die als Holzfasern bei der Rosifloren bezeichneten Elemente in Wirklichkeit Tracheïden sind. In den lebenden Elementen des Holzes, den Markstrahlen und dem Holzparenchym, welche während des Sommers Stärke aufspeichern, ist zu gleicher Zeit ein Oxydulniederschlag meist nicht zu erzielen. Das Holz der Wurzeln, soweit untersucht, bot dieselben Verhältnisse dar wie der Stamm. Kleinere Sträucher und Kräuter fand A. Fischer glycosefrei; grössere Sträucher oder Bäumchen zeigten wechselnde Verhältnisse [2]). Während die Gefässe von kleineren Sträuchern, Stauden und Kräutern sich als glycosefrei ergaben, führte „das farblose Parenchym inner- und ausserhalb des Gefässbündelringes“ derselben bei den Dicotylen Glycose in grosser Menge. In den Gefässen der Blattstiele und der Blattspreiten fehlte fast immer die Glycose, während auch dort das Gewebe um die Gefässbündel herum stark auf Glycose reagirte. So zeigten sich auch sehr glycosereich die Scheiden um die letzten Bündelauszweigungen; letztere

---

1) l. c. p. 75.
2) l. c. p. 78.

selbst, sowie die stärkeren Bündel glycosefrei. Die untersuchten Rhizome ergaben Glycose in sehr grossen Mengen in allen safterfüllten Zellen, auch viele Gefässe reagirten auf Glycose und mochten sie auch schon vor Ausführung des Schnittes enthalten haben. — Austreibende Zweige der Holzgewächse verhielten sich, soweit die Untersuchung reichte, wie krautartige Pflanzen. Die Glycose, die in dem übrigen Gewebe reich vertreten ist, fehlt dort noch in den Gefässen und stellt sich erst im Laufe des Sommers ein [1]). — Im Winter enthielten die untersuchten Holzgewächse die Glycose in denselben relativen Mengen wie im Sommer; die im Sommer glycosereichen zeigten sich im Winter glycoseärmer. Schon Ende Februar stellt sich aber eine Vermehrung der Gefässglycose ein.

Diese letztere Erscheinung steht in Beziehung zu den Wandlungen, welche die Reservestoffe in den Baumstämmen während des Winters durchmachen.

Auch diese Vorgänge sind im Anschluss an ältere Arbeiten von Th. Hartig [2]), Reichard [3]), Schröder [4]), N. J. C. Müller [5]), Russow [6]), Grebnitzky [7]) und Baranetzky [8]), durch A. Fischer [9]) jetzt besonders eingehend verfolgt worden.

In der Rinde aller Bäume schwindet die Stärke zu Anfang

1) l. c. p. 81.

2) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg., 1858, p. 332.

3) Ueber die Lösungsvorgänge der Reservestoffe in den Hölzern bei beginnender Vegetation, Landwirth. Versuchs-Stationen, herausgegeben von Nobbe, Bd. XIV, 1871, p. 323.

4) Beitrag zur Kenntniss der Frühjahrsperiode des Ahorns, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VII, p. 296 ff.; Zusammenfassung p. 340.

5) Ueber die Vertheilung der Molecularkräfte im Baum, II. Theil: Der sogenannte absteigende Saftstrom, 1875, p. 187.

6) Ueber den Inhalt der parenchymatischen Elemente der Rinde vor und während des Knospenaustriebes und Beginn der Cambiumthätigkeit in Stamm und Wurzel der einheimischen Lignosen, Sitzber. der Dorp. Naturf. Gesellsch., 1882, p. 361, und Ueber das Schwinden und Wiederauftreten der Stärke in der Rinde der einheimischen Holzgewächse, Sitzber. d. Dorp. Naturf. Gesell., 1883, p. 492.

7) Ueber die jährliche Periode der Stärkespeicherung in den Zweigen unserer Bäume, Bot. Centralbl., Bd. XVIII, p. 157.

8) Bemerkungen, ebendas.

9) l. c. p. 87 ff.

des Winters vollständig, im Holze thut sie es nur bei weichholzigen Bäumen. Da die schwindende Stärke durch Oel ersetzt wird, so unterscheidet A. Fischer zwischen Fettbäumen und Stärkebäumen. Die ersteren sind weichholzig, sie enthalten zur Zeit des winterlichen Stärkeminimums gar keine Stärke mehr, weder im Holze noch in der Rinde. Diesen Hölzern schliesst sich Pinus silvestris an, während die anderen untersuchten Coniferen eine Mittelstellung einnehmen. In der Rinde schwindet bei ihnen die Stärke meist vollständig; im Holz nur zum grossen Theil. Sie sind aber zu den Fettbäumen zu zählen, da sie im Winter vorwiegend Fett im Holze führen. Die Stärkebäume zeigen eine ganz unbedeutende Abnahme der Stärke im Holze und bilden nur sehr geringe Mengen von Fett im Holzkörper, wenig Fett selbst auch in der Rinde. Das Stärkeminimum ist Ende November, spätestens Mitte December erreicht. Die Stärke schwindet innerhalb der Rinde zunächst in den „chlorophyllhaltigen peripherischen Schichten", zuletzt in den Rindenstrahlen. In mehrjährigen Aesten von Salix babylonica häuft sich die Hauptmasse der Stärke im jüngsten Jahresringe an. Allem Anschein nach wandert ein Theil der gelösten Stärke aus der Rinde in den Holzkörper ein [1]). Das Wiedererscheinen der Stärke am Ende des Winters richtet sich nach den Temperaturverhältnissen, beginnt aber durchschnittlich Anfang März, verläuft sehr rasch, so dass Anfang April das Stärkemaximum des Frühlings erreicht ist. Die Stärkeregeneration fällt mit der Blutungszeit zusammen; das Stärkemaximum andererseits wird überschritten, wenn die Knospen ihre Blätter entfalten. Die Regeneration der Stärke erfolgt nach wenigen Tagen [2]), selbst in losgelösten Rindenstücken, die man im Januar oder Februar in das warme Zimmer bringt. Der Gerbstoff der Rindenzellen bleibt dabei unverändert, die Glycose schwindet mehr oder weniger vollständig. Bei den Fettbäumen ist während der Regeneration der Stärke eine bedeutende Abnahme des Fettes in Mark, Holz und Rinde festzustellen. Aus den mit den älteren Angaben von Russow und Baranetzky übereinstimmenden Ergebnissen der A. Fischer'schen Untersuchung folgt somit, dass

1) l. c. p. 99.

2) Eine Erscheinung, die bereits von Reichard, l. c. p. 241, und von Russow, l. c. p. 492 festgestellt worden war.

die Lebensvorgänge innerhalb der Bäume im Frühjahr nicht mit einer Lösung, sondern mit einer Bildung von Stärke beginnen, dass diese Regeneration der Stärke zu einer Zeit stattfindet, wo noch keine äusserlich sichtbaren Zeichen das Erwachen der Vegetation bekunden, eine Lösung von Stärke dann aber folgt, wenn die jungen Blätter aus der Knospe hervorbrechen. Dass nur ein Theil der im Baum aufgespeicherten Reservestoffe im Frühjahr verbraucht wird, findet A. Fischer[1]) ebenso wie schon R. Hartig[2]), welcher im Besonderen dies für die Rothbuche zeigte. An älteren Exemplaren der letzteren kommt für die Triebbildung nur ein Bruchtheil der vorhandenen Stärke alljährlich zur Verwendung, während der grosse Vorrath für die Samenjahre aufgespart bleibt. — Die Lösung der Stärke im Baum umfasst, bei Stärkebäumen wie bei Fettbäumen, die Zeit vom Austreiben der Knospen bis zur vollen Ausbildung der Blätter[3]). Das sich einstellende Stärkeminimum richtet sich nach der Witterung und ist von sehr kurzer Dauer. Unter besonders günstigen Assimilationsbedingungen wird es Ende Mai bereits überwunden, da die Ablagerung neuer Stärke alsdann beginnt. Die Stärkeablagerung hält hierauf fast bis zum Blattwurf an. Sobald im Herbst das Stärkeminimum, und zwar auch bei Stärkebäumen durch Schwinden der Stärke in der Rinde sich eingestellt hat, kann man durch Temperatursteigerung das Wiedererscheinen der Stärke veranlassen. Diese Regeneration erfolgt, wie schon einmal berührt wurde, sehr rasch, während es eine viel längere Zeit erfordert durch Erniedrigung der Temperatur im Herbst eine Stärkelösung zu veranlassen. Im Sommer gelang es nicht, letzteren Vorgang bei der Linde auch durch 14-tägige Abkühlung zu bewirken[4]).

Auch noch andere Angaben von A. Fischer, welche sich auf das Verhalten der Knospen beziehen, kommen für unsere Untersuchungen in Betracht. Das unter dem Vegetationspunkte der Knospe ansetzende Mark ist an dieser Stelle mit Calciumoxalat überfüllt, was dieser Stelle die Bezeichnung des Oxalat-

1) l. c. p. 106.

2) Das Holz der Rothbuche, p. 38, und Ueber die Bedeutung der Reservestoffe für den Baum, Bot. Ztg., 1888, Sp. 837.

3) A. Fischer, l. c. p. 106 und 109.

4) A. Fischer, l. c. p. 117. Dort die ältere Litteratur.

nestes verschafft hat. Im Herbst ist innerhalb der Knospenschuppen sehr viel Stärke abgelagert, die Hauptmasse aber in dem Knospenmark unterhalb des Vegetationspunktes, besonders auch im Oxalatneste. Der Vegetationskegel mit den embryonalen Anlagen ist im October vollkommen stärkefrei. Im Winter nun wandert die Stärke aus dem Knospenmark in die Anlagen der Blätter und Blüthen, während das Knospenmark selbst sich entleert. Durch Wärme lässt sich aber in dem Knospenmark Stärke regeneriren. Eine Einwanderung der hierzu erforderlichen Substanzen schien dabei A. Fischer ausgeschlossen. Da aber das Knospenmark nur sehr wenig Glycose enthielt, so musste zu der Stärkebildung ein unbekannter Stoff gedient haben[1]. Zu der Annahme eines solchen Stoffes war A. Fischer zuvor auch schon bei der Regeneration der Stärke in der Rinde der Stärkebäume veranlasst worden. A. Fischer meint, dass die gegen das Frühjahr hin erfolgende Anfüllung der embryonalen Theile der Knospen mit Stärke, die Entfaltung derselben fördern müsse[2].

Die Wandlung, welche die in den Zweigen und Knospen aufgespeicherten Reservestoffe zu Anfang des Winters durchmachen, geben den Schlüssel zur Deutung der bekannten Erfahrungen des Frühtreibens, aus welchen hervorgeht, dass ein solches Treiben erst von einem gegebenen Zeitpunkte an erfolgreich gelingt. Dieser Zeitpunkt wird durch die Witterung im Spätherbst und zu Wintersanfang insofern beeinflusst, als ein frühzeitiges Eintreffen von Kälte die Veränderungen beschleunigt, die von den Reservestoffen durchgemacht werden müssen, um ein Austreiben der Knospen zu ermöglichen. So war schon Knight bekannt[3], dass der Weinstock, welcher vom Sommer her im Treibhause steht, im Winter bei der nämlichen Wärme des Hauses nicht wächst, dass hingegen dies eine Pflanze thut, welche aus dem Freien in das Treibhaus versetzt wird. Ebenso kann man aber die im Treibhaus gehaltene Pflanze zum Wachsen wieder anregen, wenn man sie den Herbstfrösten eine Zeitlang

1) l. c. p. 125.
2) l. c. p. 125.
3) Phil. Transact., 1801, Th. I, p. 333—353. Nachricht von einigen Versuchen über das Aufsteigen des Saftes in den Bäumen, übersetzt von Treviranus, in: Beiträge zur Pflanzenphysiologie, 1811, p. 112.

aussetzt. So konnte auch Krašan [1]) Zweige von Salix-Arten, von Evonymus europaeus und von Prunus Padus erst zur Entfaltung der Knospen bringen, nachdem die Pflanzen niedrige Temperaturgrade zu Wintersanfang im Freien durchgemacht hatten. — Obstbäume, die getrieben werden sollen, dürfen erst in das Treibhaus gebracht werden, wenn sie einigen Nachtfrösten ausgesetzt waren [2]). Niedrige Temperaturen beschleunigen somit die Veränderungen, welche die Reservestoffe vor der neuen Treibperiode durchmachen müssen, sind aber nicht eine absolute Bedingung dieser Veränderungen. Das lehren laubwerfende Bäume der südlichen Breiten. Dort führen die Reservestoffe die nöthigen Wandlungen entsprechend langsamer aus, wodurch ein vorzeitiges Austreiben trotz hoher Temperatur vermieden wird.

A. Fischer [3]) suchte auch festzustellen, inwieweit sich Knospen auf Kosten der in ihnen enthaltenen Reservestoffe, ohne Zufuhr anderweitigen Materials, entwickeln könnten. Abgetrennte Syringa-, Crataegus-, Evonymus-Knospen, Ende Januar in feuchtes Fliesspapier gewickelt, zeigten deutliche Schwellung der Knospenschuppen und ein Auseinandertreten derselben bis zum Sichtbarwerden der Kuppe des grünen Blättchens, damit war aber die Entwicklung zu Ende und, wie die Untersuchung lehrte, auch die zur Verfügung stehende Stärke verbraucht [4]). Die in der Knospe enthaltenen Kohlehydrate scheinen somit wohl zu einer kräftigen Schwellung der Knospe, nicht aber zu einer wirklichen Entfaltung derselben auszureichen.

---

1) Beiträge zur Kenntniss des Wachsthums der Pflanzen, III, Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., 1873, Bd. LXVII, I. Abth., p. 252 ff.

2) Vergl. Askenasy, Ueber die jährliche Periode der Knospen, Bot. Ztg., 1877, Sp. 827. Siehe im Uebrigen Pfeffer, Pflanzenphysiologie, Bd. II, p. 110, und A. Fischer, l. c. p. 119 ff.

3) l. c. p. 125.

4) Wie Schaar neuerdings zeigte, ist in manchen Winterknospen, so denjenigen von Fraxinus excelsior, ausser der Stärke auch Cellulose, und zwar letztere in Gestalt von Verdickungsschichten der Zellwände innerhalb der Knospendecken deponirt und wird beim Austreiben der Knospe aufgelöst und verbraucht. Die Reservestoffbehälter der Knospen von Fraxinus excelsior, Sitzber. d. Wien. Akad. d. wiss., math.-naturw. Cl., Bd. XCIX, 1890, p. 291.

Für die Beurtheilung der Bedeutung, welche der in den Wasserbahnen der Holzgewächse vertretenen Glycose zukommt, sei es, meint A. Fischer, wichtig, zunächst zu berücksichtigen, dass diese Glycose in den Wasserbahnen der krautartigen Pflanzen fehlt und dass sie auch den saftigen Jahrestrieben der Bäume wenigstens anfangs abgeht. Hierdurch trete sofort eine Sonderstellung der Holzgewächse in Bezug auf die Stoffwanderung hervor.

Aus den Ringelungsversuchen ergaben sich dann einige weitere Anknüpfungspunkte. Ein 5-jähriger Ast von Prunus avium, der am 10. Juni in mittlerer Länge bis auf das Holz geringelt, darüber und darunter reich beblättert war, zeigte, am 7. August desselben Jahres untersucht, reichliche Stärkemengen über und unter, besonders aber über der geringelten Stelle, während diese selbst fast stärkeleer war. Hingegen erwiesen sich die Gefässe innerhalb der geringelten Stelle ebenso glycosereich wie im übrigen Aste. Dasselbe Resultat ergaben auch Versuche mit anderen Pflanzen. Die Markstrahlen in der geringelten Partie waren noch lebendig. Bei doppelter Ringelung der Zweige war das zwischen zwei bis auf das Holz ausgeführten Ringelungen eingeschlossene Aststück stärkefrei, wenn blattlos, überfüllt mit Stärke, wenn beblättert. Endlich erwiesen sich auch im unteren Theile unbeblätterte Zweige stärkefrei, wenn sie sich unter einer Ringelung befanden, während über der Ringelung der beblätterte Theil dicht mit Stärke angefüllt sich zeigte. Aus diesen Versuchen folgert A. Fischer, „dass die in den Blättern erzeugten Kohlehydrate nur abwärts wandern, dass im Sommer eine Aufwärtsbewegung derselben aus älteren in jüngere Aeste nicht erfolgt“. Das bestätigte auch noch ein anderer Versuch. Es wurde am 23. April ein Birkenast so abgeschnitten, dass ein ca. 10 cm langer Stumpf zurückblieb, der in der Mitte einen kräftigen Jahrestrieb mit 7 Blättern entfaltete. Ueber der Insertionsstelle desselben enthielten am 10. August Mark, Rinde und Holz nur wenig Stärke, die Reste der nicht verbrauchten vorjährigen Reservestärke; eine Speicherung hatte nicht stattgefunden. Die Basis des Aststumpfes unter dem neuen Triebe zeigte sich hingegen mit Stärke vollgestopft. A. Fischer glaubt hervorheben zu können, dass seine Versuche die Angaben von Th. Hartig voll bestätigt hätten. Das ist insoweit der Fall, als auch Th. Hartig mit Bestimmt-

heit bereits behauptet hat, dass die plastischen Stoffe, welche für die Holzbildung nothwendig sind, nur in absteigender Richtung innerhalb der Rinde sich bewegen können [1]). Hingegen giebt Th. Hartig an, dass diejenigen Reservestoffe, die er als die primitiven bezeichnet, und welche Holzbildung nicht zu veranlassen vermögen, in der Rinde auch aufsteigen können. Wenn man, meint Hartig [2]), von zwei Gabelästen der Eiche nur einen ringelt, so findet in diesem unter der Ringwunde zwar keine Holzbildung, wohl aber eine fortdauernde normale Auflösung und Wiederansammlung von Reservestoffen statt. Die Wiederansammlung von Reservestoffen sei dort aber nicht anders möglich, „als durch Wiederaufsteigen eines Theiles des im unverletzten Gabelaste rückschreitenden primären Bildungssaftes in das Aststück zwischen Gabelbasis und Ringwunde, woselbst der primäre Bildungssaft, wie gewöhnlich, aus den Bastschichten dem Holzkörper zugeht, dort in Reservestoffen sich ablagert, um im nächsten Frühjahre durch den Holzkörper der Ringwunde hindurch, als secundärer Bildungssaft, in die Gipfeltheile des verletzten Gabelastes emporzusteigen". Nicht minder fand Th. Hartig [3]), dass, wenn man einem Baumstamm einen schmalen Rinde- und Baststreifen in einer mehrfach gewundenen, schmalen Spirallinie entnimmt, die Holzbildung nur am oberen Schnittrande dieser Spirale vor sich geht, hingegen eine alljährlich sich erneuernde Ansammlung und Wiederauflösung von Reservestoffen in allen Theilen der Querschnittfläche innerhalb der Spiralwunde zu beobachten ist. Eben dieser Gegensatz zwischen einer, unter solchen Umständen erfolgenden Ansammlung von Reservestoffen und der ausbleibenden Holzbildung war es, der Th. Hartig zu seiner Theorie des Doppelkreislaufs der Nahrungsstoffe in der Pflanze führte. Es besteht somit ein gewisser Widerspruch zwischen den Angaben von A. Fischer, der Stärke ausschliesslich nur abwärts sich in der Rinde bewegen lässt, und den Th. Hartig'schen Angaben. Dieser Widerspruch lässt sich, wie ich glaube, auf Grund meiner Beobachtungen lösen. Ich fand nämlich, wie Fischer, dass in

---

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1858, p. 339.

2) l. c. p. 340.

3) Ebenda.

Aststumpfe Stärke aus dem unteren Theile der Aeste, oder sonst anderer Theile des Stammes nicht einwandert, andererseits aber, wie Th. Hartig, dass dies vielfach, so bei der Eiche, in den unteren Theil eines geringelten Astes geschieht, und zwar dann, wenn der zugehörige Holzkörper die abgelagerten Kohlehydrate durch Ableitung nach oben einbüsste und dadurch einen neuen Zufluss von Reservestoffen nach seinem Innern aus der Bastzone anregte. Dann rückte auch von unten her die Stärke in dem sich entleerenden Bastparenchym nach, ähnlich wie sich auch aufwärts gerichtete Bewegungen der Kohlehydrate auf kurze Strecken hin in der Bastzone einstellen, wenn ihr durch einen sich neu entwickelnden Spross Reservestoffe entzogen werden.

Hiernach ist eine Aufwärtsbewegung von Kohlehydraten in der Bastzone möglich, sie findet aber doch nur in vereinzelten Fällen statt.

Andererseits kann auf Grund der mitgetheilten Thatsachen als sicher gelten, dass weder eine Abwärts- noch eine Aufwärtswanderung der Kohlehydrate in den lebendigen Elementen des Holzkörpers vor sich geht.

Die Versuche, die A. Fischer [1]) anstellte, um eine Aufwärtsleitung der Kohlehydrate innerhalb der Gefässe im Frühjahr zu erweisen, fielen ganz übereinstimmend mit Th. Hartig's Angaben, über die bereits berichtet wurde, aus. Mit Hilfe von Ringelungen wurde festgestellt, dass die ganze Stärke ohne Beihilfe der Rinde aus dem Holze entfernt werden kann. „Ob dieser Weg", meint A. Fischer [2]), „im Frühjahr allein benutzt wird, geht allerdings aus den Beobachtungen noch nicht unzweideutig hervor; eine grosse Wahrscheinlichkeit hierfür dürfte aber bereits sich ergeben haben." Durch weitere Versuche sucht dann A. Fischer diese Wahrscheinlichkeit zur Sicherheit zu erheben, mit Hilfe blatt- und seitenastloser Ahornstücke, welche in der zweiten Maihälfte sich frei von Stärke, aber noch reich an Glycose innerhalb des Holzkörpers zeigten. Er stellte solche Zweige normal aufrecht und umgekehrt mit einem Ende in Wasser auf und constatirte stets in der Nähe des aufwärts gekehrten Endes Bildung von Stärke. Diese konnte nur aus dem Glycosematerial gebildet worden sein, welches

1) l. c. p. 139.
2) l. c. p. 144.

der aufsteigende Wasserstrom mit sich emporgeführt hatte. Es wurde festgestellt, dass die Stärkebildung in allen Versuchen schon sehr bald unter der aufwärts gekehrten Schnittfläche sich einstellte. Innerhalb derselben Aststücke war irgend welche Aenderung der Stoffvertheilung innerhalb der Rinde nicht zu bemerken, so dass diese in die beobachteten Vorgänge der Stärkeregeneration in den lebendigen Geweben an der oberen Schnittfläche in keiner Weise hatte eingreifen können. An ein Eingreifen des Markes und der Markkrone in die Aufwärtsleitung ist schon deshalb kaum zu denken, als dieselben ja auch an der Abwärtsleitung der Kohlehydrate nicht Theil nehmen, andererseits sterben ja jene Gewebe in älteren Pflanzentheilen früher oder später ab, und ist dann ein Eingreifen derselben in Leitungsvorgänge eo ipso ausgeschlossen. Dass eine Aufwärtsleitung der Kohlehydrate in jüngeren und älteren Pflanzentheilen in verschiedener Weise sich vollziehen sollte, dies anzunehmen liegt aber kein Grund vor.

A. Fischer glaubt am Schlusse seiner Arbeit noch einmal den Gegensatz hervorheben zu müssen, den Holzgewächse und Kräuter in der Bewegung ihrer Kohlehydrate zeigen [1]). Wenn, meint er, aus den unterirdischen, überwinternden Theilen der Stauden die gelösten Kohlehydrate emporwandern, dann haben sie ihren Weg durch die jungen, hervorwachsenden krautigen Sprosse zu nehmen, in denen noch die umfangreichen Röhrensysteme von Gefässen fehlen, welche bei den Holzgewächsen zur Verfügung stehen. Da sehr bald die neuen Organe eine selbständige Assimilationsthätigkeit entfalten, so wird bei den krautigen Pflanzen auch bald das Emporsteigen der Kohlehydrate aus den unterirdischen Reservestoffbehältern aufhören. Das Transpirationswasser, welches die Gefässe krautartiger Stengel durchströmt, kann sich deshalb nicht mit gelösten Kohlehydraten beladen, und hierdurch erklärt sich das Fehlen der Glycose in den Gefässen der Kräuter und Stauden. Bei diesen, meint Fischer, sind die Gefässe ausschliesslich wasserleitende Organe, bei den Holzgewächsen aber dienen sie im Frühjahr zugleich als Wanderungsbahnen der Kohlehydrate. Dieser Unterschied ist nach Fischer von fundamentaler Bedeutung.

Seit Jahren hatte ich auch Bestimmungen des Inhalts der

---

1) l. c. p. 150.

Wasserbahnen vorgenommen und ganz entsprechend den A. Fischer'schen Angaben, zu allen Jahreszeiten Glycose in denselben gefunden. Namentlich erstreckten sich meine Untersuchungen über zahlreiche Coniferen, und möchte ich für diese nur bemerken, dass deren Wurzelholz im Allgemeinen glycoseärmer als das Stammholz ist. Auch kann ich in Uebereinstimmung mit Russow anführen [1]), dass die Wurzel der Coniferen im Winter weit länger ihre Stärke als das Stammholz behält, die Ueberführung dieser Stärke in Oel dort in weit geringerem Grade erfolgt, was jedenfalls damit zusammenhängt, dass die Wurzel vor dem Einfluss niederer Temperaturen viel mehr geschützt ist. Das Kernholz, welches ich an verschiedenen Coniferen, dann bei Robinia und bei der Eiche untersucht habe, fand ich zuckerfrei, und es ist wohl anzunehmen, dass es so auch in anderen Fällen sein dürfte. Im Uebrigen wird jetzt eine eingehendere Mittheilung der von mir erhaltenen Resultate überflüssig, nachdem A. Fischer weit ausgedehntere Beobachtungen zur Veröffentlichung brachte.

Das allgemeine Ergebniss, zu dem ich gelangt bin, kann ich zunächst dahin formuliren, dass in unseren Holzgewächsen die durch die Blätter assimilirten Kohlehydrate in der Bastzone (secundären Rinde) und zwar nur innerhalb dieser abwärts wandern. Entgegengesetzte Bewegungen der Kohlehydrate innerhalb dieser Bastzone finden nur auf kurze Entfernungen hin statt und zwar nur, wenn sie durch localen Verbrauch veranlasst werden. Von der Bastzone aus verbreiten sich die Kohlehydrate in die Markstrahlen und in das Holzparenchym, respective füllen sie in jüngeren Zweigen auch mehr oder weniger das Mark, vornehmlich die Markkrone, an. Eine Abwärtsleitung in den Parenchymen der Holzkörper, welche, wie schon die älteren Angaben zeigen, nicht stattfindet, ist bei denjenigen Nadelhölzern, die kein longitudinal verlaufendes Holzparenchym, wie beispielsweise die Edeltanne, besitzen, schon anatomisch ausgeschlossen. Im Frühjahr, eventuell auch bei Bildung sogenannter Johannistriebe, findet eine Aufwärtsführung der Kohlehydrate in den Wasserbahnen nach den sich entfaltenden Knospen statt.

A. Fischer fand, dass die in ihren Gefässen Glycose führenden Bäume, auch im Sommer dieselbe enthalten, und ich habe

1) Sitzber. d. Dorp. Naturf.-Gesellsch., 1882, p. 373.

eben diese Angabe bestätigt. Hieraus erwächst für die Deutung der ganzen Erscheinung eine gewisse Schwierigkeit. So glaubt Fischer aus diesem Befunde schliessen zu müssen, dass Glycose das ganze Jahr hindurch mit dem Wasserstrom aufwärts geführt werde. So weit das nach den transpirirenden Flächen hin erfolgen sollte, wäre der Vorgang wohl kaum zweckentsprechend. Ein Theil zuvor abgeleiteter Kohlehydrate käme so an seinen Ursprungsort wieder zurück, jedenfalls doch nur um den Weg nach abwärts von neuem anzutreten. Doch ich glaube eben auch nicht, dass eine solche Abwärtsleitung von Kohlehydraten in den Wasserbahnen nach den assimilirenden Flächen hin erfolgt, und zwar weil diese die Aufnahme der aufwärts geleiteten Kohlehydrate versagen. Wir waren ja in dem vorhergehenden Kapitel zu dem Resultate gelangt, dass die Mesophyllzellen den Wasserbahnen den Inhalt auf osmotischem Wege entziehen. Damit ist auch gegeben, dass ein Stoff aus den Wasserbahnen nicht in das Mesophyll aufgenommen wird, der sich in letzterem selbst schon im Uebermaass befindet. Anders, wenn neue Entwicklungsvorgänge an den Vegetationspunkten eingeleitet werden und bestimmte Enden der Wasserbahn alsdann in einem Gewebe ihren Abschluss finden, welches Kohlehydrate begierig aufnimmt. Manche Fragen, die Form betreffend, in welcher die Kohlehydrate innerhalb der Wasserbahn aufwärts wandern, werden übrigens noch zu erledigen sein. So muss auch noch entschieden werden, ob die Glycose wirklich als solche mit dem Rohsaft aufsteigt. Fischer fand Glycose in der Mehrzahl der untersuchten Holzgewächse, doch bei manchen auch nicht, oder doch nur in geringen Mengen, ungeachtet nicht anzunehmen ist, dass diese Holzgewächse sich anders als die übrigen verhalten sollten. Unter den glycosereichen Holzgewächsen figuriren bei Fischer die Ahornarten und doch giebt Schröder an, dass es ihm im Blutungssafte des Ahorns nicht gelungen sei, auch nur eine Spur von Traubenzucker nachzuweisen [1]). Der ganze Zucker des Blutungssaftes von Acer platanoides, der im Maximum bis 3,71 % anwachsen konnte [2]), bestand aus Rohrzucker. Dies würde sich alles sehr

---

1) Beitrag zur Kenntniss der Frühjahrsperiode des Ahorns, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VII, p. 264.

2) l. c., p. 293.

einfach erklären, wenn Traubenzucker durch die Schliesshäute der Tüpfel nicht gehen könnte, daher erst eine Umwandlung erfahren müsste, um leitungsfähig zu werden. Das ist aber nicht der Fall. Ich stellte vielmehr fest, dass die Schliesshäute in keiner Weise den Traubenzucker aufhalten. Durch 20 cm lange, ca. 1,5 cm dicke, frisch geschnittene Aststücke von Tsuga, Taxus, Salix und Betula liess ich erst unter 1,5 m Wasserdruck längere Zeit Wasser und hierauf 5% Traubenzuckerlösung filtriren. Die durchgegangene Lösung war fast ebenso zuckerreich wie die eingepresste.

A. Fischer schliesst aus dem Umstande, dass in kleineren Sträuchern und Kräutern Glycose in den Wasserbahnen nicht nachzuweisen war, auf eine verschiedene Benutzung der Wasserbahnen durch diese und die Holzgewächse. Diesen Schluss kann ich nicht gelten lassen. Wäre derselbe auf alleinigem Grund des Umstandes, dass A. Fischer Glycose in den Wasserbahnen der kleineren Sträucher und Kräuter niemals fand, berechtigt, so müsste auch auf die Nichtbenutzung der Wasserbahnen für Kohlehydrate bei denjenigen Bäumen geschlossen werden, die keine Glycosereaction in ihren Wasserbahnen gaben. Viel näher liegt jedenfalls, anzunehmen, dass auch Sträucher, die ganz wie Bäume Kohlehydrate in ihrem Holzkörper aufspeichern, nicht anders wie jene ihre Wasserbahnen benutzen, und dass auch Stauden und Kräuter nur dann sich abweichend verhalten, wenn eine Aufspeicherung von Kohlehydraten in ihrem Gefässsystem fehlt. Ein principieller Unterschied ist aber auch für letztere nicht vorhanden, und werde ich gleich zu zeigen suchen, dass er auch wirklich nicht besteht.

Zunächst möchte ich aber daran erinnern, dass der amphivasale Bau der Gefässbündel, wie man ihm in den Rhizomen so oft begegnet, sich ungezwungen aus dem Eingreifen der Wasserbahnen in die Beförderung von Kohlehydraten auch bei Stauden erklärt. Das Gefässbündel taucht so mit seinem Gefässtheile in den mit Reservestoffen erfüllten Behälter. Damit soll nicht gesagt sein, dass dieser amphivasale Bau nicht auch damit zusammenhänge, dass die Rhizome und sonstigen Reservestoffbehälter vielfach als Wasserreservoire fungiren. Dann werden beide Vortheile vereinigt und erleichtern nicht nur die Aufnahme der Assimilate, sondern nach Bedarf auch die Wiederaufnahme des Wassers. In manchen Fällen mag die Beziehung

zu den Wasserreservoiren die vorwiegende, wenn nicht allein maassgebende sein. Bei mehreren Dracaenen, bei welchen der Stamm augenscheinlich als Reservestoffbehälter fungirt, sind die Gefässbündel amphivasal gebaut, freilich nicht bei allen, wenn auch anzunehmen ist, dass doch bei allen dem Stamm dieselbe Bedeutung zufällt. Bei Zea dienen besonders die Stengelknoten als Reservestoffbehälter, und dort zeigen denn auch, wie wir im anatomischen Theile gesehen haben [1]), die peripherischen Blattspurstränge, vornehmlich aber die Achselknospenbündel und Wurzelanschlussbündel amphivasalen Bau.

Wie aus den Angaben von Müller-Thurgau [2]) folgt, für andere Rhizome aber noch nicht festgestellt wurde, gehen auch in den Kartoffelknollen während der Ruheperiode und beim Austreiben ähnliche Umwandlungen vor sich, wie im Winter in unseren Bäumen. Die Stärke wird unter dem Einfluss niederer Temperatur in Zucker übergeführt, und zwar gelingt diese Ueberführung ebenfalls erst nach einiger Zeit, nachdem eine bestimmte Ruheperiode durchgemacht wurde. Diese Uebereinstimmung in den vorbereitenden Vorgängen lässt auch auf Uebereinstimmungen in den darauf folgenden schliessen. Ebenso ist bekannt, dass Zwiebeln und Knollen verschiedener Gewächse im Herbst nur schwer oder gar nicht sich treiben lassen [3]).

Ich erwähnte vorhin schon, dass ich es versucht habe, direct den Beweis zu erbringen, dass die Kohlehydrate auch bei krautartigen Gewächsen befähigt sind, den Weg durch die Wasserbahnen zu nehmen. Ich stellte das fest, indem ich zunächst aus meinen früheren Erfahrungen Vortheil zog, dass ein Klemmen von Pflanzentheilen deren Welken so lange nicht zur Folge hat, als die trachealen Bahnen noch offen stehen. Junge, noch unfertige Pflanzentheile sind gegen eine solche Behandlung zu empfindlich, wohl aber wird sie von den älteren meist gut vertragen. Ich hielt mich daher an letztere, und zwar indem ich Stengeltheile unter Blüthen oder Blüthen-

---

1) Vergl. p. 335 und 348.

2) Ueber Zuckeranhäufung in Pflanzenzellen in Folge niederer Temperatur, Landw. Jahrb., Jahrg. XI, 1882, p. 774, 781, 807, und Beitrag zur Erklärung der Ruheperiode der Pflanzen, ebendas., Jahrg. XIV, 1885, p. 881 u. a. m.

3) Vergl. Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, Bd. II, p. 111, dort auch sonstige diesbezügliche Litteratur.

ständen, beziehungsweise unter ganz jungen Frucht- oder Fruchtstandanlagen zusammenpresste und dann verfolgte, ob trotzdem eine Zufuhr von Kohlehydraten zu der Fruchtanlage noch stattfindet. Mikroskopisch wurde dann weiter in jedem Einzelfalle controlirt, ob wirklich und in welchem Maasse die anderen Gewebe, die Wasserbahnen ausgenommen, zerdrückt worden waren. Diese Versuche lehrten, dass es bei sehr vielen Pflanzen möglich ist, Frucht und Samen mehr oder weniger vollständig zur Reife zu bringen, auch wenn kein anderer Weg der Zufuhr als die Wasserbahnen offen bleibt, und dass der Gehalt so gereifter Früchte an Kohlehydraten ein bedeutender werden kann. Wohl am leichtesten gelingt dieser Versuch mit Umbelliferen, bei welchen ich die Klemmen dicht unter dem Blüthenstand anlegte. Doch ich will mich hier zunächst auf diese Angaben beschränken, um später nochmals auf meine Versuche zurückzukommen.

Ob die Wasserbahnen nicht auch zu einer raschen Aufwärtsbeförderung von Eiweisskörpern unter Umständen benutzt werden, beziehungsweise benutzt werden können, lag nach den mit Kohlehydraten gemachten Erfahrungen nahe zu fragen. Thatsächlich hatten ja bereits die Untersuchungen des Blutungssaftes bestimmte, wenn auch nur geringe Mengen von Eiweiss in demselben ergeben. So berichtete schon Unger [1]), dass der alcoholische Niederschlag des Blutungssaftes der Birke beim Glühen einen nach angebranntem Horn riechenden Gestank verbreitete, der auf einen Gehalt an Eiweiss schliessen lässt. Schroeder [2]) im Besonderen stellte dann durch eingehende Untersuchung fest, dass auch für den im Verhältniss zum Zucker weit geringeren Eiweissgehalt der Blutungssäfte dieselben Vertheilungsgesetze wie für den Zucker gelten, so zwar, dass die Eiweissmengen des Blutungssaftes mit dem Zuckergehalt steigen und fallen. Sie betragen übrigens beim Ahorn nicht mehr als 0,00344%, bei der Birke als 0,00099%.

---

1) Studien über sogenannte Frühlingssäfte der Pflanzen, Sitzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., math.-naturw. Cl., Bd. XXV, 1857, p. 443.

2) Beitrag zur Kenntniss der Frühjahrsperiode des Ahorns, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. VII, p. 284, 285.

A. Beyer[1]), der ebenfalls Blutungssaft der Birke und der Hainbuche in dieser Richtung untersuchte, fand im Birkensaft 0,0024 %, bei der Hainbuche 0,0014 und 0,0013 % Eiweiss. Der gesammte Stickstoffgehalt des Blutungssaftes der Hainbuche stellte sich auf 0,019 und 0,0172 %; der Stickstoffgehalt, nach Abzug des im Eiweiss und Ammoniak enthaltenen, auf 0,0176 und 0,0157 % heraus. Aus dem in Alcohol unlöslichen Rückstand erhielt Beyer Krystalle, die ihm Asparagin zu sein schienen. Th. Hartig[2]) giebt dann auch an, in dem Wintersafte verschiedener Holzgewächse nicht nur beträchtliche Mengen verschiedener Zuckerarten und von Gummi, sondern auch geringe Mengen „stickstoffhaltiger Substanz" gefunden zu haben. Besonders wichtig erscheint mir aber in dieser Richtung die von R. Hartig[3]) constatirte Thatsache, dass auch im Stamm der Rothbuche in Samenjahren der Stickstoff aus Holz und Rinde noch vollständiger als die Stärke schwindet. Während in einem solchen Samenjahre der Stärkegehalt des Stammes bis auf ein Drittel sank, konnte der Stickstoffvorrath stellenweise vollständig erschöpft werden. Dass diese Stickstoffverbindungen den langsamen Weg durch die lebendigen Zellen von den untersten Theilen des Stammes aus bis zu den Fruchtanlagen eingeschlagen hätten, um in relativ kurzer Zeit so vollständig aus dem Stamme auszuwandern, halte ich für ausgeschlossen. Nicht minder unwahrscheinlich erscheint, sonstigen Erfahrungen nach, die Annahme, dass diese rückläufige Bewegung sich innerhalb der Siebröhren vollzogen habe, so dass der Weg durch die Wasserbahnen fast als der einzig mögliche nur übrig bleibt. Anatomische Anknüpfungspunkte für eine solche Annahme sind auch bereits in dem ersten Theile dieses Buches zu finden. Haben wir doch dort constatirt, dass die Geleitzellen der Siebröhren, beziehungsweise eiweisshaltige Bastparenchymzellen, welche die Geleitzellen vertreten, mit den Markstrahlen direct communiciren und durch Ausbildung von Tüpfeln nach diesen zu, den Weg unmittelbar andeuten, welchen ihr Inhalt nimmt. Die

1) Mittheilungen über das Saftsteigen in den Bäumen zur Frühjahrszeit, Archiv für Pharmacie, 1868, Bd. 183, p. 223.

2) Luft-, Boden- und Pflanzenkunde, 1877, p. 250 Anm., p. 268 Anm.

3) Ueber die Bedeutung der Reservestoffe für den Baum, Bot. Ztg., 1888, Sp. 839 ff.

Markstrahlen führen ausser den Kohlehydraten auch diese Eiweisskörper dem Cambium und weiter jedenfalls auch dem Holzkörper des Stammes zu, und ebenso wie die Kohlehydrate kann somit dort auch der aus den Siebröhren stammende Inhalt in die Wasserbahnen gelangen.

Dass die Wasserbahnen in der That befähigt sind, auch Eiweisskörper an ihre Verbrauchsorte zu leiten, habe ich durch directe Versuche festgestellt, bei welchen Ringelungen einerseits, Quetschungen andererseits in Betracht kamen. Die unzweideutigsten Ergebnisse lieferten mir die zuvor schon herangezogenen Fruchtanlagen, vornehmlich solche, welche viel Eiweiss in ihren Samen ablagern.

Diese meine Versuche erstrecken sich über eine grosse Anzahl von Pflanzen; am massenhaftesten habe ich mit Umbelliferen experimentirt. Ich benutzte hierzu in zwei aufeinanderfolgenden Sommern, bei längerem Aufenthalt in der Schweiz, vornehmlich das Heracleum Sphondylium, welches auf den Voralpen in besonders kräftigen Exemplaren auf allen Wiesen steht. Ich verfuhr in der Weise, dass ich die Stengel dicht unter dem Ursprung der zusammengesetzten Dolde ringelte oder klemmte, oder auch einmal, ja selbst zwei Mal knickte. Beim Ringeln entfernte ich etwa 1 cm hoch die primäre Rinde und die Siebtheile bis auf die Gefässtheile des Gefässbündelringes. Das gelang meist nicht schwer, weil der Gefässtheil nach dem Siebtheil zu von stark verdickten Holzfasern gebildet wird, solche Holzfasern auch interfasciculär vom Cambiumringe aus erzeugt werden und so einen fortlaufenden, ziemlich resistenten Ring bilden. Es ist nur darauf zu achten, dass man auch in den Vertiefungen des Stengels das Gewebe bis auf diesen Ring entfernt. Die Wunde umgab ich sofort mit Stanniol und pflegte sie noch mit einem Seidenfaden zu verbinden. Geklemmt wurden die Stengel mit ca. 1 cm breiten Holzklemmen, deren beide Schenkel ich fest aneinander drückte und mit Draht verband. Der Druck war meist so stark, dass er den Stengel an der geklemmten Stelle in ein kaum über 1 mm dickes Band verwandelte. Die einfach oder doppelt unter der Inflorescenz geknickten Stengel wurden mit Seidenfäden so zusammengebunden, dass die Knickung eine ganz scharfe bleiben musste. Die Pflanzen ertrugen auffallend gut alle diese Operationen. Zum Welken kam es nur ganz ausnahmsweise und nur bei gequetschten Pflanzen, wenn der

Druck so stark war, dass er die Gefässlumina verschloss. Nach Abschluss der Versuche untersuchte ich die sämmtlichen Pflanzen mikroskopisch auf Schnitten und controlirte so unmittelbar den Zustand der operirten Stellen. Die Ringelung fiel nicht immer gleichmässig, bis auf den inneren Ring der Holzfasern aus; vielfach blieben unversehrte Siebtheile noch an den vertieften Theilen des Stengels zurück; auch hatte ich es nicht ganz in meiner Gewalt, die Quetschung in völlig übereinstimmender Weise auszuführen. Bei der grossen Zahl der operirten Pflanzen waren aber stets hinreichend viel völlig entscheidende, tadellos behandelte Exemplare gegeben. Die Versuche zählten nach Hunderten. Das Resultat aller dieser Versuche mit Heracleum lässt sich dahin zusammenfassen, dass weder Ringelung, noch Quetschung, noch Knickung die Ausbildung der Früchte und das Ausreifen der Samen verhindert, nur dass die Reifungsvorgänge verlangsamt, eventuell eingeschränkt werden. Am besten pflegte sich die Entwicklung nach vollzogener Ringelung zu vollziehen; dann war am Blüthenstande und hierauf auch am Fruchtstande kaum etwas von den Folgen derselben zu bemerken. Durch die Quetschung wurde die Entwicklung um so mehr verlangsamt, je stärker ich die Klemmen anzog. Bei sehr starker Quetschung pflegte sich auch wohl nur noch ein Theil der Früchte im Fruchtstande zu entwickeln. Am schlechtesten vertrugen die Pflanzen eine doppelte, scharfe Knickung, was sich daraus erklärt, dass eine solche Knickung auch die Gefässbahnen zum Theil verschliesst. In den Samen, die ich aus allen den so verschieden ausgeführten Versuchen erhielt, war das Endosperm mit Klebermehl angefüllt und führte auch Oeltröpfchen. Aus den Inflorescenzstielchen konnten die bedeutenden Mengen von Reservestoffen nicht stammen, welche dem Fruchtstand schliesslich das vielfache Gewicht der Inflorescenz ertheilten. Es war in einem Worte nicht daran zu zweifeln, dass diese Reservestoffe, somit auch die zur Bildung des Klebers nöthigen Stickstoffassimilate, ihren Weg vornehmlich, unter Umständen ausschliesslich, durch die Wasserbahnen genommen hatten.

Ob die Umbelliferen es nöthig haben, die Wasserbahnen zur Aufwärtsleitung ihrer Stickstoffassimilate unter natürlichen Verhältnissen zu benutzen, mag dahingestellt bleiben. Thatsächlich stehen ihnen ja die Siebtheile des die Inflorescenz tragen-

den Stengels, in welchem die Siebtheile nur für Aufwärtsleitung angelegt sein können, zur Verfügung. Dass nach Bedürfniss aber die Benutzung der Wasserbahnen zu diesem Zwecke möglich ist, geht aus unseren Versuchen bestimmt hervor. Da die Inflorescenz der Umbelliferen in immerhin oft nicht unbedeutender Höhe über der Hauptmasse der assimilirenden Blätter steht, so ist für Kohlehydrate die Benutzung der Wasserbahnen auch unter normalen Verhältnissen wahrscheinlich. Dass die Aufwärtsleitung derselben in unseren Versuchen vielfach nur durch die Wasserbahn erfolgen konnte, ergiebt sich von selbst. Im natürlichen Zustande sieht man die Umbelliferen übrigens auch einigen Vortheil aus der Möglichkeit ziehen, ihre Wasserbahnen für Aufwärtsleitung der Assimilate zu verwerthen. Es ist eine nicht eben seltene Erscheinung, dass der die Inflorescenz tragende Stengel einer Umbellifere durch Thiere oder in anderer Weise umgeknickt werde. Das hindert das Ausreifen der Samen nicht, auch wenn die Knickung eine recht scharfe ist und die geknickte Stelle äusserlich gebräunt und wie abgestorben erscheint.

Der Ausfall der Versuche bei den Umbelliferen löst bereits die aufgeworfene Frage, immerhin sei auch noch über die Versuche mit anderen Pflanzen hier kurz berichtet. Relativ gut vertrugen Ringelung und Quetschung (die Knickungsversuche schränkte ich auf die Umbelliferen ein) die Leguminosen. Bei diesen boten die Versuche aber dadurch besonderes Interesse, dass die Samen Kohlehydrate und Kleber, vornehmlich erstere, beziehungsweise auch nur letzteren führen. Ich experimentirte mit Phaseolus, Lathyrus, Tetragonolobus auf der einen, mit Lupinen auf der anderen Seite. Die Ringelungen bis auf den Holzkörper sind bei diesen Pflanzen leicht auszuführen, und die mikroskopische Untersuchung lehrte, dass in den meisten Fällen wirklich die Entfernung aller Siebtheile bei der Operation gelungen war. In zahlreichen Fällen wurden nach Ringelung wie nach Knickung gute Früchte und Samen erhalten. Im Allgemeinen zeigten sich aber doch die Leguminosen wesentlich empfindlicher gegen die Operation wie die Umbelliferen, und eine nicht unbedeutende Einschränkung in der Zahl der ausgebildeten Früchte und Samen, eine meist merkliche Reduction in der Grösse der letzteren war die Folge. Da ich aber die Ringelungen und Klemmungen auch hier dicht unter der Inflorescenz an-

brachte, so war es ausgeschlossen, dass die zur Frucht- und Samenbildung verwandten Reservestoffe aus den Stengeltheilen oberhalb der präparirten Stellen stammen sollten.

In erwünschter Weise reagirte auch Oenothera biennis, ebenfalls mit entsprechender Reduction der Zufuhr. Noch mehr fiel diese Einschränkung der Zufuhr bei Phytolacca decandra auf. Durch Klemmen wurde bei letzterer die Weiterentwicklung der Fruchtanlagen oft ganz zum Stillstand gebracht. Nur negative Resultate ergaben Delphinium - Arten. Ringelung wie Klemmen sistirten vollständig die Entwicklung der Früchte. Besser vertrugen die Operationen Nigella- und noch besser Clematis-Arten. Ecballium elaterium bildete über den Klemmen meist auch nur sehr kleine Früchte. Vielfach blieb deren Entwicklung ganz stehen, und die mikroskopische Untersuchung zeigte dann auch vielfach Bildung von Thyllen in den Gefässen ober- und unterhalb der geklemmten Stelle. Ringelungen waren für Ecballium ausgeschlossen. So auch bei Monocotylen, bei welchen ich mich demgemäss auf das Klemmen beschränkte. Agapanthus umbellatus vertrug die Klemmen gut, bei Canna-Arten erzielte ich hingegen aus den an der Basis geklemmten Blüthenständen keine Früchte. Ricinus endlich brach stets an der geringelten Stelle ab. Quetschungen ergaben bei demselben gute Früchte und Samen; doch waren letztere relativ inhaltsarm. Da übrigens Ricinusinflorescenzen amphivasale Gefässbündel an der Innenseite des Holzringes führen und die Siebtheile dieser Gefässbündel sich nicht zudrücken lassen, so konnten letztere an der Aufwärtsleitung der Stickstoffassimilate betheiligt geblieben sein.

Ich führe hier auch alle Versuche mit negativem Ergebniss an und brauche wohl nicht hervorzuheben, dass sie dem positiven Ausfall der zuerst geschilderten keinen Abbruch thun. Ist es doch schon auffällig genug, dass positive Erfolge überhaupt zu verzeichnen sind, wo der Versuch mit so starken Eingriffen in die Organisation des Versuchsobjectes verbunden war.

Aus meinen Versuchen folgt somit bestimmt die Möglichkeit einer Betheiligung der Wasserbahnen an der Leitung der Stickstoffassimilate, und die Thatsache, dass die Wasserbahnen auch bei krautartigen Gewächsen zu einer Aufwärtsleitung von Kohlenstoff- sowohl, als auch von Stickstoffassimilaten befähigt sind.

Wir haben schon einmal darauf hingewiesen, dass Th. Hartig in bestimmten Fällen eine Auflösung und Wiederansammlung von Reservestoffen in der Bastzone an Orten beobachtet hat, die nur in aufsteigender, der normalen entgegengesetzter Richtung von diesen Reservestoffen erreicht werden konnten. Zu gleicher Zeit constatirte Th. Hartig das Ausbleiben der Cambiumthätigkeit an solchen Orten. Das führte Th. Hartig zu der Vorstellung eines doppelten Kreislaufes der Nahrungssäfte in der Pflanze. Der von den Wurzeln aus dem Boden aufgenommene rohe Nahrungssaft steigt, meinte er, „ausschliesslich in den echten, einfachen Holzfasern des Holzkörpers bis zu den Blättern“. Dort wird der rohe Nahrungssaft zu „primitivem Bildungssafte“ umgewandelt. Dieser primitive Bildungssaft tritt durch das Siebfasergewebe der Bastschichten in die tieferen Baumtheile zurück, um sich dort, wahrscheinlich unter Vermittlung des Markstrahlgewebes, im Holz, Mark und Rinde zu Reservestoffen umzubilden. Die Füllung des Baumes mit diesen Reservestoffen schreitet demgemäss von unten nach oben allmählich fort. Die festgewordenen Reservestoffe überwintern unverändert und werden erst im folgenden Frühjahre zu secundärem Bildungssafte wieder aufgelöst, durch einen „dem Keimungsprocesse im Samenkorne ähnlichen Vorgang“. Dieser flüssige, secundäre Bildungssaft „mengt sich mit dem aufsteigenden Rohsafte und wird von diesem in die oberen Extremitäten des Baumes emporgehoben, um dort seinen Uebergang in das Siebfasergewebe der Bastschichten zu bewirken, von wo aus er aufsteigend die Bildung neuer Triebe, Blätter und Blüthen, absteigend die Bildung neuer Holz- und Bastschichten vermittelt, in der Cambialschicht seine endliche Fixirung als Zellstoff findet, die in einer der vorangegangenen, vorübergehenden Fixirung als Reservestoff entgegengesetzten Richtung von oben nach unten fortschreitet“ [1]).

Dass an Orten, über welchen die Bastzone unterbrochen wurde, die Cambiumthätigkeit ausbleibt, auch wenn Reservestoffe zur Verfügung stehen, könnte seinen Grund darin haben, dass diese Cambiumthätigkeit dort nicht angeregt wird. Der Wasserstrom würde ja, so wie so, die neu angelegten Wasserbahnen dort nicht zu benutzen vermögen, da diese Bahnen an der Ringelungsstelle ihren Abschluss fänden. Ein anderer Grund

---

1) l. c. p. 341, 342.

könnte in dem Mangel von verwerthbaren Eiweisskörpern gegeben sein. Th. Hartig hat ja thatsächlich nur das Vorhandensein von Stärke an den betreffenden Stellen constatirt. Dass der Mangel an Eiweisskörpern in der That dort das Entscheidende ist, geht wohl daraus hervor, dass sonst selbst in völlig entblätterten und entästeten Stämmen sich die Cambiumthätigkeit in Folge vererbter Eigenschaften einstellt, so weit nur die nöthigen Bildungsstoffe zur Verfügung stehen. Auch ist ja in Wirklichkeit unter Ringwunden eine wenn auch äusserst beschränkte Cambiumthätigkeit möglich und jahrelang verfolgt worden. Die für diese Cambiumthätigkeit nöthigen Reservestoffe dürften in solchen Fällen vornehmlich, wenn nicht ausschliesslich, der assimilatorischen Thätigkeit des Phelloderms entstammen.

Vergegenwärtigen wir uns aus dem anatomischen Theile die Entwicklungsgeschichte der Siebröhren, ihre Vertheilung und die Art, wie sich ihre Füllung vollzieht, so muss der Umstand, dass den Siebtheilen eines geringelten Astes vom Stamme aus kein Inhalt zngeführt wird, nur naturgemäss erscheinen. Diejenigen Siebröhren, welche jetzt in angrenzenden Aesten oder in der gemeinsamen Tragaxe neu angelegt werden, können nicht directen Anschluss nach oben in die schon vorhandenen Siebröhren des geringelten Astes erhalten. Letztere müssten in aufsteigender Richtung aus denjenigen älteren Siebröhren schöpfen, in welche sie von Anfang an sich fortsetzten. Diesen ist aber während des Winters ihr Inhalt entzogen worden; und ihre Wiederfüllung auch ausgeschlossen, da die Verbindung nach den assimilirenden Flächen auch für sie nicht mehr besteht. Anders mit den Bahnen für Kohlehydrate, die Anschluss nach allen Richtungen hin haben. Diese können mit frischem Material, soweit ein Grund dazu vorliegt, auch unter einer Ringwunde in aufsteigender Richtung versorgt werden. — Oberhalb einer Ringwunde ist Ueberproduction im Cambium zu constatiren, es bilden sich die bekannten Wülste. Dort sind es aber auch immer neue Siebröhren, die in die Erscheinung treten und die unteren Enden von Bahnen darstellen, welche oben in den assimilirenden Organen münden. Der aufgehobene Druck an der Wundstelle treibt den Siebröhreninhalt gegen dieselbe und fördert dort die Neubildung. In den anatomischen Befunden sind keinerlei Anhaltspunkte gegeben, denen zufolge der Siebröhreninhalt sich nicht gleich gut

in entgegengesetzten Richtungen innerhalb der Siebröhren bewegen sollte. Wenn man einen Pflanzentheil durchschneidet, wird der Siebröhreninhalt ebensowohl in absteigender wie in aufsteigender Richtung gegen die Wunden getrieben. Findet somit innerhalb der Pflanze nur ein absteigender Strom des Siebröhreninhalts im secundären Zuwachs statt, so hängt das mit der absteigenden Füllung der Siebröhren und der radialen Isolirung aufeinander folgender Siebröhrenbänder zusammen. Bei Pflanzen, denen sehr viel Siebröhreninhalt zur Verfügung steht, bildet sich bekanntlich ein Gewebewall auch an dem unteren Rande der Ringwunde. Bei Vitis und Ampelopsis sah ich diesen Wulst sogar ganz bedeutende Dimensionen annehmen; seine Bildung als solche ist somit weder durch einen bestimmten Bau der Siebröhren, noch durch deren etwaige Unfähigkeit anders als abwärts die Stoffe zu leiten, ausgeschlossen.

Wenn also unter einer Ringwunde an einem, mit dem Mutterstamme verbundenen Aste, bei Vorhandensein von Kohlehydraten, die Cambiumthätigkeit unterbleibt, so liegt das an dem Fehlen von Siebröhreninhalt an der betreffenden Stelle. Hiermit wäre aber auch die Frage nach der Bedeutung dieses Siebröhreninhalts entschieden. Er stellt einen für die Zellbildung nothwendigen Stoff dar, den die leitenden Parenchyme nicht abwärts führen. Dass dieser Stoff aus eiweissartigen Verbindungen, die in unmittelbarer Beziehung zum Aufbau des Zellplasma und Kernplasma stehen, vornehmlich gebildet wird, folgt aus dem über den Siebröhreninhalt bis jetz Bekanntgewordenen. Die Zusammensetzung dieses Inhalts zeigt nach Schimper[1]) grosse Aehnlichkeit mit derjenigen der Aleuronkörner: eiweissartige Körper, Phosphorsäure, Kali, Magnesia, zugleich Zurücktreten des Kalks, Fehlen der Kieselsäure, des Natriums. Dass auch Phosphorsäure in dem Siebröhreninhalt reich vertreten ist, während dieselbe, nach Schimper, wie schon früher berichtet wurde, auch direct dem Orte ihres Verbrauchs zugeführt wird, erklärt sich wohl daraus, dass phosphorsaures Kali die Löslichkeit sonst unlöslicher Eiweissstoffe, so zum Beispiel auch der Aleuronkörner, bedingt. Dass der Inhalt der Siebröhren bei den meisten Pflanzen dünnflüssig ist und, wo er

1) Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora 1890, p. 261.

bei der Untersuchung sich schleimig zeigt, es vielfach erst unter dem Einfluss der Luft geworden, haben wir bei anderer Gelegenheit schon erörtert.

Durch Mangel an Siebröhreninhalt war es somit wohl auch bedingt, dass in den durch Th. Hartig[1]) vor Beginn der Holzbildung geringelten Eichen die Anlage eines neuen Jahresringes unter der Ringwunde stets nur den zehnten bis achten Theil der Breite des vorhergehenden Jahresringes erreichte und aufhörte, während die Baumtheile dort noch reichlich Stärkemehl führten.

Das aus den bisherigen Daten bereits Gefolgerte lässt sich auch nach einer anderen Seite noch durch die Hanstein'schen[2]) Angaben stützen, die auf Versuchen mit Stecklingen von solchen Pflanzen beruhen, welche isolirte Siebstränge in ihrem Marke enthalten. Während nämlich an geringelten Stecklingen solcher Pflanzen, welche markständiger Siebstränge entbehren, Wurzeln nur oberhalb der Ringwunde entspringen können, bilden sich solche, unter sonst gleichen Verhältnissen, auch unterhalb der Ringwunde an Stecklingen von Pflanzen, die mit markständigen Siebsträngen versehen sind. Da der Weg durch das Mark auch den anderen Stecklingen offen steht, so kann das besondere Verhalten der mit markständigen Siebsträngen versehenen nur durch den Inhalt dieser Siebstränge bedingt sein.

Ich habe zuvor schon darauf hingewiesen, dass der Bau der Siebröhren nicht ein derartiger ist, dass er eine Leitung in entgegengesetzten Richtungen ausschliessen sollte, dass vielmehr die Leitungsrichtung durch den Ort des Anschlusses an die füllenden Organe bedingt sei, und dass, von localen Beeinflussungen abgesehen, eine Bewegung nur von diesen hinweg erfolgt. Die überwiegende Zahl der Siebröhren wird für Abwärtsleitung angelegt, von den assimilirenden Flächen aus nach den Reservestoffbehältern; eine Anzahl von Siebröhren ist aber auch gleich für Aufwärtsleitung, das heisst für eine Leitung nach Orten bestimmt, die scheitelwärts von den assimilirenden Organen liegen. Solche scheitelwärts gerichteten Siebröhren führen nach den embryonalen Geweben hin, nach dauernd nicht

1) Bot. Ztg. 1858, p. 339.

2) Versuche über die Leitung des Saftes durch die Rinde und Folgerungen daraus. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. II, p. 438 ff.

assimilirenden Pflanzentheilen, nach Samen- und Fruchtanlagen[1]). Für die Versorgung der embryonalen Gewebe werden die Cribralprimanen ausgebildet; für nicht assimilirende Pflanzentheile, die Samen- und Fruchtanlagen, werden auch dauernd functionirende Siebröhren angelegt. Alle diese aufwärtsleitenden Siebröhren sind nicht die unmittelbaren Fortsetzungen der aus den assimilirenden Organen kommenden, deren Verlauf stets grundwärts gerichtet ist, sie setzen vielmehr seitlich an dieselben an. Das geschieht stets erst innerhalb des Tragsprosses. Die Cribralprimanen müssen dort, bei unseren laubwerfenden Gewächsen, aus dem Vorrath des Vorjahres schöpfen; die Siebröhren für die nicht assimilirenden Organe, für Samen und Früchte, werden dort mit neu erzeugten Producten der Stickstoffassimilation versorgt. Zugleich unterliegt es, nach unseren zuvor mitgetheilten Versuchen, keinem Zweifel mehr, dass die durch Vermittlung der Siebröhren erfolgende Zufuhr von Stickstoffassimilation durch Zuleitung innerhalb der Wasserbahnen unterstützt werden kann. Klar ist es andererseits, dass diese letzte Unterstützung nur in denjenigen Richtungen möglich ist, welchen der Wasserstrom folgt. Eine solche Unterstützung durch die Wasserbahnen findet vornehmlich bei unseren Holzgewächsen, und zwar wohl besonders in Samenjahren statt, ist aber selbst bei krautartigen Gewächsen nicht ausgeschlossen. Bei Holzgewächsen würde sich aber eine Zuleitung eiweissartiger Körper durch die Wasserbahnen, der Zuleitung derselben Stoffe durch Siebröhren gegenüber, nicht anders verhalten, wie die Beförderung von Kohlehydraten in den Wasserbahnen zu derjenigen im leitenden Bastparenchym. Für Kohlehydrate, wie für eiweissartige Körper kommt dann in allen Fällen noch die Weiterbeförderung innerhalb jugendlicher Gewebe hinzu, die für die Kohlenstoffassimilate wohl auch in Form glycoseartiger Körper, für Stickstoffassimilate wohl vornehmlich in Form von Amiden erfolgt[2]). Berücksichtigt man alle diese Möglichkeiten,

1) Die Assimilationsvorgänge in den Früchten selbst kommen im Verhältniss zu der Menge von Assimilaten, die sie beanspruchen, kaum in Betracht. So erreichen selbst Weintrauben nach Müller-Thurgau, (Ueber das Reifen der Trauben, Ann. d. Oenologie, 1877, Bd. VI, p. 615) eine gute Ausbildung, wenn die Fruchtstände bald nach dem Abblühen in einen dunklen Kasten eingeführt werden.

2) Vergl. Th. Hartig, Entwicklungsgeschichte des Pflanzen-

so lassen sich die Wanderungsvorgänge von Assimilaten in Keimpflanzen, krautartigen Pflanzen, Stauden und Holzgewächsen unter gemeinsame Gesichtspunkte bringen: sie führen uns nur verschiedene Combinationen der vorhandenen Möglichkeiten vor, bei welchen die eine oder andere vorherrscht, die eine oder die andere unter Umständen gar nicht in Anwendung kommt.

Auch die scheinbaren Widersprüche gewisser Versuche lassen sich heben, wenn alle einschlägigen Momente hinlängliche Berücksichtigung finden. Hanstein fand, dass sich Knospen, unter welchen Rindenringelungen angebracht werden, überhaupt nicht oder nur mangelhaft entwickeln, während umgekehrt Th. Hartig, der alle Assimilate als secundären Bildungssaft durch den Holzkörper zu den Knospen aufsteigen liess, eine der Hanstein'schen entgegengesetzte Behauptung aufstellte. Hanstein [1]) berichtet, dass vegetirende belaubte Zweigspitzen oder Fruchtstände, die man durch eine Ringelung von dem übrigen Theile der Pflanze sondert und ihrer Blätter beraubt, absterben ohne weiterzuwachsen, sich aber fortentwickeln, wenn sie auch nur wenige Blätter behalten. Sind solche Zweige nicht geringelt, wohl aber entlaubt, wenn auch auf eine weite Strecke, so kommen sie allmählich zur Fortentwicklung, ohne jedoch zugleich innerhalb dieser Strecke dicker zu werden, bevor sie wieder belaubt sind. Daraus folgert Hanstein: „Der Holzkörper nebst dem noch vegetirenden Mark ist nicht im Stande, frisch assimilirten Saft aufwärts zu leiten, nicht einmal so viel zur eigenen Verdickung nöthig ist. Vielmehr kann auch dies nur durch die Rinde geschehen, welche denselben im normalen Verhältniss nur auf kurze, im abnormen jedoch, gezwungen und zögernd, auch auf längere Strecken aufwärts befördert.“ Th.

---

keims, 1888, p. 127, Pfeffer, Untersuchungen über die Proteïnkörner und die Bedeutung des Asparagins beim Keimen der Samen, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. VIII, p. 563; Borodin, Ueber die physiologische Rolle und die Verbreitung des Asparagins im Pflanzenreiche, Bot. Ztg. 1878, Sp. 801, und W. Schimper, Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora 1890, p. 224.

1) Versuche über die Leitung des Saftes durch die Rinde und Folgerungen daraus, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. II, p. 423 ff. und die Zusammenstellung p. 448.

Hartig[1]) behauptet hingegen, dass, wenn man im Frühjahr Triebe vor dem Laubausbruche ringelt, der Laubausbruch und die Triebbildung dadurch nicht verhindert werden. Sie sollen vielmehr ganz ebenso wie an ungeringelten Trieben bei Paulownia, Magnolia, Nyssa, Carya, Catalpa erfolgen, und nur an einigen Holzarten, z. B. Robinia, Fraxinus, Quercus, bleiben die Blätter allerdings auffallend kleiner als an nicht geringelten Trieben. An Paulownia wählte Th. Hartig zu dem Versuche einjährige Triebe von der Dicke eines kleinen Fingers. Die Trieb-, Blatt- und Holz-Bildung geschah ganz ebenso wie an nicht geringelten Zweigen, während andere geringelte, nur 3 Linien dicke Zweige allerdings schon nach der Entfaltung der ersten Blätter abstarben, offenbar, meint Th. Hartig, in Folge eines rascheren Austrocknens des entblössten Holzcylinders. Die anderen angeführten Holzarten ringelte Th. Hartig an 3- oder 4-jährigen Trieben, wo diese $^1/_2$ Zoll Dicke erlangt hatten. Th. Hartig führte auch gleichzeitig Ringelung und Entlaubung an der Linde, Rothbuche, Hainbuche und am Ahorn aus, nachdem deren Triebe eine Länge von ungefähr $^1/_2$ Fuss erreicht hatten. Die Ringwunde wurde, um das rasche Austrocknen des entblössten Holzcylinders zu verhindern, an 3-jährigen Trieben geschnitten, über ihr aber alle Blätter weggenommen. Neben diesen wurden andere auf demselben Mutterstocke stehende, gleich grosse Ausschläge ebenso entlaubt, aber nicht geringelt. Einen wesentlichen Unterschied in der Trieb-, Laub- und Knospen-Bildung der entlaubten, geringelten und der entlaubten nicht geringelten Triebe konnte Th. Hartig bis in den Sommer hinein nicht wahrnehmen. Das abweichende Resultat der Hanstein'schen Versuche, soweit es ein Ausbleiben des Wachsthums und ein Absterben der über der Ringelungsstelle befindlichen entlaubten Zweigspitzen erweisen solle, sucht Th. Hartig[2]) dadurch zu erklären, dass er annimmt, die Entlaubung setze die Verdunstung oberhalb der geringelten Stelle auf ein Minimum herab, wodurch die Zufuhr der Nahrungsstoffe aufhöre. Das habe auch noch weiter die Folge, dass der durch die Ringelung entblösste Holzkörper sehr bald abstirbt.

1) Findet eine aufsteigende Bewegung des Pflanzensaftes auch im Baste statt? Bot. Ztg. 1862, p. 84.

2) Bot. Ztg. 1862, p. 83.

Gegen die Th. Hartig'schen Versuche ist einzuwenden, dass die Ringelung an den Trieben zu tief angebracht wurde, ein Vorrath, aus dem die Knospen schöpfen konnten, in den über der Ringwunde gelegenen Rindentheilen somit gegeben war, nach begonnener Entfaltung die Blätter aber für ihre eigene, weitere Ernährung sorgen konnten.

Auf Grund der Erfahrungen, die wir an den Fruchtständen gesammelt hatten, konnten wir es versuchen, die einander scheinbar ausschliessenden Angaben von Hanstein und Th. Hartig zu verknüpfen. Es war anzunehmen, dass zwar die jungen Knospen durch aufwärts leitende Siebröhren, die Cribralprimanen, wohl auch durch Aufwärtsleitung von Amiden im Parenchym mit Stickstoffassimilaten versorgt werden, diese ihnen aber auch durch die Wasserbahnen zugeführt werden oder zugeführt werden können. Beide Vorgänge dürften bei Holzgewächsen vielfach in einander greifen und sich unterstützen.

Zahlreiche Versuche, die ich mit Ringelungen unter Knospen ausführte, lehrten denn auch übereinstimmend, dass die Möglichkeiten hier die nämlichen wie bei Inflorescenz-Ringelungen sind. Störend greift aber der Umstand ein, dass die Ringelung von jungen Sprosstheilen so schlecht vertragen wird. Hat dieselbe ein Absterben sammt den damit verbundenen Veränderungen, sowie ein Austrocknen der geringelten Holzpartie zur Folge, so muss naturgemäss, aus diesem Grunde allein, die Knospe über der geringelten Stelle zu Grunde gehen. Die Ringelung muss aber, um auszuschliessen, dass andere Reservestoffe als die beabsichtigten der Knospe zur Ernährung dienen, stets direct unter der Knospe vorgenommen werden. Die Ringelungen, die ich ausführte, reichten bis auf den Holzkörper, der sofort mit Stanniol umwickelt wurde. Vielfach überstrich ich das Stanniol noch mit Baumwachs. Das directe Auftragen von Baumwachs auf den entblössten Holzkörper erwies sich als nachtheilig.

Von allen den verschiedenen Bäumen, die ich in zwei aufeinander folgenden Jahren vor Beginn der Knospenentfaltung geringelt habe, vertrugen diese Operation am besten die Rosskastanien. Sie trieben unter Umständen ganz normal über der Ringelung aus; vielfach zeigte sich aber auch der so erzeugte Trieb schwächer, als ein unter normalen Bedingungen erwachsener. Der Erfolg bei Aesculus erklärt sich aus dem Umstande,

dass der Holzkörper der Zweige gleich unter den Terminalknospen bedeutende Dicke besitzt und damit eine der Hauptbedingungen für das Ueberstehen der Operation aufweist. In der That lehrte dann auch die mikroskopische Untersuchung solcher Zweige nach vollendeter Triebbildung, dass der Holzkörper meist nur in der Peripherie gelitten hatte. Dort zeigte er sich gebräunt, die Gefässe mit Schutzgummi erfüllt, während das innere Holz gesund geblieben war. Die Markkrone erschien hingegen vielfach gebräunt, die Zellen des weiten Markes stets mit Luft erfüllt. Irgend eine Betheiligung des Markes an der Leitung der Assimilate war somit ausgeschlossen. Holzbildung unter der geringelten Stelle am Zweige trat nicht ein, so auch nicht, wie selbstverständlich, an der geringelten Stelle. Letztere fühlte sich aber unter der Schutzvorrichtung, wie ich sie angebracht hatte, bis zuletzt noch feucht an. Ueber der geringelten Stelle zeigte sich nach vollendeter Triebbildung die Cambiumthätigkeit schon ziemlich weit fortgeschritten. Die Bräunung der Markkrone setzte sich aber eine Strecke weit auch oberhalb der Ringelung fort. Die vorjährige Rinde an der 1 cm langen Strecke, welche die Ringelung von der Knospe trennte, fand sich zu gleicher Zeit von Stärke völlig entleert, die Siebbröhren dort ohne Inhalt, während an derselben Stelle eines nicht geringelten Zweiges der Siebröhreninhalt mit Jod gelbbraun sich färbte, Rinde und Markkrone sich dort mit Stärke dicht erfüllt zeigten. Unter der Ringelung waren die Siebbröhren noch ziemlich inhaltsreich, und so auch führten dort die Rinde und die Markstrahlen im Holzkörper ziemlich viel Stärke, so dass die den Knospen zum Austrieb zugeführte Nahrung vornehmlich aus grösserer Entfernung stammen dürfte. — Im Laufe des Frühjahrs fingen auch die kräftig entwickelten Triebe der geringelten Zweige etwas zu leiden an. Die zunächst nur peripherischen Veränderungen des Holzkörpers drangen an der geringelten Stelle immer tiefer ein und beeinträchtigten immer mehr die Wasserbewegung. Die Blätter der Triebe fingen dann an, fleckig zu werden, Ende Juni hatten sie einen deutlich gelblichen Ton erlangt, waren aber keineswegs welk. Im August hatte aber die Brüchigkeit des geringelten Abschnittes so zugenommen, dass sämmtliche präparirten Sprosse bei einem stärkeren Winde abbrachen. Eine Anzahl von Zweigen, die ich zu gleicher Zeit unter den Knospen unvollständig geringelt

hatte, so zwar, dass ich ihnen die Rinde in einzelnen Streifen oder auch auf der einen Seite liess, ergaben oft deutlich kräftigere Triebe, die vor allem weiterhin auch nicht erkrankten. Es gelang den Zweigen vielmehr in den meisten Fällen, bald die Wunde durch Ueberwallung zu schliessen.

Die Ringelung unterhalb noch geschlossener Knospen bei Aesculus ergab somit, ihrem Wesen nach, vollkommen die gleichen Resultate, wie die früher geschilderten Ringelungen unterhalb der Blüthenstände, das heisst eine Möglichkeit der Zufuhr aller nothwendigen Assimilate durch die Wasserbahnen, doch mit deutlicher Beeinträchtigung der Entwicklung bei Einschränkung auf diese Bahnen.

Die besten Erfolge mit Ringelung unterhalb der Knospen erzielte ich, von Aesculus abgesehen, bei Vitis und Ampelopsis. Es handelte sich bei beiden freilich nicht um Terminalknospen, sondern um Seitenknospen an den Enden zurückgeschnittener Triebe. Auch stellte ich mit den beiden Pflanzen die Versuche so an, dass ich Seitenknospen an älterem Holz isolirte durch Anbringung einer Rindenringelung dicht über und unter denselben. Die Wunden wurden in derselben Weise durch Stanniol und Baumwachs geschützt wie bei Aesculus. Die Knospen trieben fast in allen Versuchen aus; die Triebe waren stets schwächer, als die unter normalen Verhältnissen entwickelten. Meist blieben sie bedeutend hinter den normalen zurück, in einzelnen Fällen konnten sie ihnen aber auch fast gleichen. Die Ringwunden pflegten bei Vitis und Ampelopsis mit der Zeit sich ganz zu schliessen. Die Ueberwallungswülste bildeten sich unter dem Stanniol sowohl an dem oberen wie an dem unteren Rande der Wunde; am kräftigsten waren sie an dem oberen Rande entwickelt.

Relativ gut trieben die Knospen über der Ringelung bei Mespilus, Sorbus und Prunus-Arten aus.

Wesentlich schwächer entwickelten sich derartige Knospen bei Sambucus nigra und gingen auch wenige Wochen später zu Grunde.

Nur schwach trieben die Knospen der Eichen über der Ringelung aus, und zwar auch in denjenigen Fällen, in welchen ich zu den Versuchen aus älterem Holz austreibende Knospen wählte.

Noch weniger Erfolg hatte ich bei Rhus-Arten. Die Sprosse

an den geringelten Zweigen wurden nur sehr schwach. So auch bei Hibiscus rosa sinensis.

Die Knospen über der Ringelung trieben überhaupt nicht aus bei Juglans- und Carya-Arten, bei Gymnocladus canadensis, Robinia Pseudacacia und Wistaria.

Ganz vorwiegend negativ fielen die Versuche bei Coniferen aus: Pinus-Arten, Tsuga und Ginkgo. Bei Pinus Pumilio, Pinus Strobus und Pinus Salzmanni gelang es der Knospe zwar nicht selten auszutreiben, doch meist blieb ihre Entwicklung bald stehen, und sie trocknete aus. Bei Ginkgo gelang es den Knospen überhaupt nicht oberhalb von Ringelungen auszutreiben. Mikroskopische Untersuchung lehrte, dass in allen Fällen, wo kein Austreiben erfolgt war oder bald nach dem Austreiben die Entwicklung innehielt, der Holzkörper gelitten hatte. Besonders auffällig war das bei Coniferen, wo sich beide Erscheinungen so vollkommen deckten, dass man stets annehmen konnte, das Absterben des geringelten Holzkörpers sei bestimmend für den Ausfall des Versuches gewesen. So erklärt sich denn auch die ältere Angabe von E. Faibre[1]), dass eine Ringelung im Frühjahr, in kurzer Entfernung von einer Endknospe ausgeführt, die normale Entwicklung dieser Knospe verhindere. Die kurzen Triebe sollten bald absterben. Andererseits fand auch schon Faibre, dass eine fast normale Ausbildung der Triebe möglich wird, wenn die Ringelung unvollständig sei. Dann ist aber auch, wie wir gesehen haben, nicht nur für eine Zuleitung von Reservestoffen durch die Rinde, sondern auch für ein Stück gesundes, leitungsfähig bleibendes Holz gesorgt. Faibre will zwar gute Triebentwicklung aus Knospen erhalten haben, unter welchen er den Holzkörper ganz entfernte und nur den Rindencylinder liess, doch das kann nur damit zusammenhängen, dass er das ganze Holz nicht entfernt hatte.

Wir können auf Grund unserer Versuche, indem wir uns wiederum auf die positiven Ergebnisse derselben stützen, ganz allgemein schliessen, dass eine Zuleitung von Kohlenstoff- wie von Stickstoff-Assimilaten durch den Holzkörper möglich ist und bei Holzgewächsen in die Ernährung der austreibenden

---

1) Nouvelles recherches sur le transport ascendant, par l' écorce, des matières nourricières, Comptes rendus, T. LXXVII, 1873, p. 1083—1086.

Knospen sehr ergiebig eingreift. Die Versuche mit Aesculus sind hierfür beweisend, da sicher anzunehmen ist, dass dasjenige, was für Aesculus gilt, auch für die anderen Holzgewächse maassgebend sei. Dass es bei vielen anderen Holzgewächsen nicht gelingt, Knospen über Ringelungen zur Entfaltung zu bringen, hängt damit nachweislich zusammen, dass der Holzkörper des jungen Triebes durch die Ringelung leicht leitungsunfähig wird, und hierdurch vor allem die Wasserzufuhr zu den jungen Trieben abgeschnitten wird. Dass auch an Seitenknospen älterer, zurückgeschnittener Zweige die Versuche negativ ausfallen können, hängt damit zusammen, dass ein solcher Zweig von der Schnittfläche aus ebenfalls rasch zurücktrocknet und die erfahrungsmässige Tendenz zeigt, bis auf wenige Centimeter von der Tragachse zurückzusterben. Solche positive Erfolge, wie bei Vitis und Ampelopsis, können aber auch hier die Misserfolge anderer Versuche decken. Nicht minder instructiv war in dieser Beziehung die relativ kräftige Entwicklung, welche Knospen von Vitis und Ampelopsis auch zwischen zwei Ringelungen nahmen. Dass andererseits normaler Weise Zufuhr von Stickstoffassimilaten zu den sich entwickelnden Knospen auch durch die Rinde erfolgt, liesse sich aus dem Umstande entnehmen, dass in allen Fällen die Triebbildung über den Rindenringelungen schwächer blieb. Doch entscheidende Beweise für die Rindenleitung würden sich aus diesen Versuchen nicht schöpfen lassen, da ja die Schwächung der Triebbildung überall auf Rechnung der Schädigung gesetzt werden könnte, welche der Holzkörper durch die Ringelung erfährt.

Dem Einwand, dass in der Knospe selbst so viel Nährstoffe vertreten seien, als die Entfaltung der Knospen und die erste Ausbildung des Triebes verlangten, und dass der Trieb weiter durch selbstthätige Assimilation für sein Fortkommen sorgen könne, lässt sich mit dem Ergebnisse der A. Fischer-schen Versuche begegnen. Denn A. Fischer fand [1]), wie schon früher angegeben wurde, dass in den Knospen befindliche Reservestoffe wohl zu deren Schwellung und Oeffnung, aber nicht einmal zu deren Entfaltung ausreichen.

---

1) Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII, p. 125.

Lecomte [1]) stellte bereits Versuche in der Weise an, dass er die Rinde nur bis zu den äusseren Sklerenchymbelegen der Gefässbündel entfernte und dann constatirte, dass das Dickenwachsthum unterhalb der so geringelten Stelle nicht beeinträchtigt wird. Er schliesst hieraus mit Recht, dass der Bast und nicht die primäre Rinde, die Nährstoffe der Pflanze vornehmlich führe. Das Ergebniss der Lecomte'schen Versuche, die an Sambucus nigra, Cissus quinquefolia, dem Weinstock und der Linde angestellt wurden, war wohl leicht vorauszusehen, immerhin ergänzt es den Ausfall der vollständigen Rindenringelungen. Ich kann die Angabe von Lecomte für Vitis und Sambucus bestätigen, ausserdem als weiteres Beispiel noch Abutilon Thompsonii anführen, bei welchen derartige Ringelungen der Rinde bis auf die secundäre Bastzone sich besonders schön ausführen lassen. Die starken Bastfaserstränge, welche bei Abutilon mit den dünnwandigen, aus Siebröhren nebst Geleitzellen und Bastparenchym bestehenden Bändern abwechseln, erleichtern sehr die Versuchsanstellung. An so peripherisch geringelten Zweigen leidet der Zuwachs unterhalb der geringelten Stelle in keiner Weise, wie denn die Pflanze unter Stanniolschutz rasch beginnt, die verlorene parenchymatische Rinde zu regeneriren. Andererseits habe ich bei entsprechend zurückgeschnittenen Zweigen mehrerer Abutilonstücke constatirt, dass eine solche Ringelung der äusseren Rindentheile mit Schonung der inneren Bastzone keinerlei nachtheiligen Einfluss auf die sich über dieser Ringelung entwickelnden Achselknospen ausübt. Dieselben bleiben hinter denjenigen anderer, in gleicher Weise gekürzter, doch nicht geringelter Zweige nicht zurück, wenn auch an letzteren das Tragblatt der Achselknospe über der Ringelung entfernt wird.

Von belaubten Zweigen, die unterhalb ihrer Belaubung an einer älteren Stelle bis auf das Holz geringelt werden, ist bekannt, dass sie zunächst in ihrer Entwicklung gefördert werden, vornehmlich stärker blühen und dann grössere Früchte erzeugen [2]). Das erklärt sich leicht aus dem Umstande, dass solchen Zweigen die Assimilate ihrer Blätter verbleiben, und

1) Contribution à l' étude du liber des Angiospermes, Ann. d. sc. nat., Bot., VII. sér., T. X, p. 300.

2) Vergl. auch Lecomte, l. c. p. 297.

wie der Erfolg zeigt, zur Fruchtbildung Verwendung finden. Was in anderen Zweigen zum Theil den Weg nach abwärts einschlägt, wendet sich, wenn alle Bahnen angefüllt sind, nach oben. Lecomte macht auch darauf aufmerksam, dass an der Wucherung, welche über dem Rande der Ringelwunde zu Stande kommt, der Bastkörper besonders betheiligt ist, was er davon ableitet, dass dieser es eben sei, der die nährende Substanz vornehmlich führe [1]). — Dass die bis auf das Holz geringelten, im ersten Jahre geförderten Zweige im folgenden Jahre leiden und bald absterben, hängt damit zusammen, dass im nächsten Jahre schon alle Wasserbahnen der neu erzeugten Blätter ohne directe Fortsetzung nach abwärts sind und nur auf radiale Anschlüsse angewiesen bleiben. Dazu kommt, dass der Holzkörper an der geringelten Stelle, auch bei künstlichem Schutz, nothwendig mit der Zeit leidet.

Ich habe in dem anatomischen Theile dieser Arbeit bereits wiederholt darauf hingewiesen, wie die Schimper'sche Ansicht [2]), dass die Assimilation des Stickstoffs, ja wohl auch diejenige des Schwefels und Phosphors in den grünen Blättern erfolge, durch die anatomischen Thatsachen gestützt wird. In der That wäre sonst auch schwer einzusehen, wozu die Siebtheile in den Blättern enden, dort durch Uebergangszellen, Säume und dergleichen, in Beziehung zu dem Mesophyll treten sollten. Ich glaube, dass die anatomischen Befunde und die physiologischen Belege hier hinlänglich im Einklang stehen. Dass die Laubblätter bei der Bildung der Eiweissstoffe wesentlich betheiligt seien, wurde schon im Jahre 1862 von Sachs [3]), dann auch von anderer Seite, so vornehmlich von Emmerling [4]) und Monteverde [5])

---

1) l. c. p. 299.

2) Ueber Kalkoxalatbildung in den Laubblättern, Bot. Ztg., 1888, Sp. 137, 148, 152, und Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora 1890, p. 254 ff.

3) Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Bildung des Amylums in den Chlorophyllkörnern, Bot. Ztg. 1862, p. 372.

4) Besonders in: Studien über die Eiweissbildung in der Pflanze, zweite Abhandlung, Landwirth. Versuchsstationen, Bd. XXXIV, 1887, p. 1.

5) Ueber die Verbreitung und Vertheilung des Salpeters in der Pflanze etc., Arbeiten der St. Petersb. Ges. d. Naturf., Bd. XII, 1882, p. 268.

ausgesprochen. Schimper's[1]) Beobachtungen bestätigten diese Annahme und erhoben dieselbe zu einer wissenschaftlich wohl begründeten Theorie. Für die Richtigkeit derselben spricht, meiner Ansicht nach, auch die von B. Frank und R. Otto[2]) neuerdings constatirte Thatsache, dass ausgewachsene und ausgebildete Blätter auffallend viel Asparagin enthalten[3]), dass sie an jedem Abend stickstoffreicher sind als am nächsten Morgen[4]), im Besonderen am Abend mehr Asparagin als am Morgen enthalten. Endlich giebt auch Chrapowicki[5]) an, gefunden zu haben, dass in stickstofffreier Salzlösung erzogene, und daher äusserst eiweissarme Pflanzen, in normale Nährstofflösungen übergeführt, das Auftreten neuer Eiweissstoffe zuerst und hauptsächlich in den Chlorophyllkörnern zeigen. Das spräche für die Annahme, dass diese Chromatophoren die Orte der Eiweisssynthese seien.

Nach all dem Vorausgeschickten und im Einklang mit dem anatomischen Bau, liegt es wohl nahe, anzunehmen, dass die Abnahme des Stickstoffgehalts der Blätter während der Nacht auf eine Ableitung der Stickstoffassimilate aus dem Blatte zurückzuführen sei. Der directe Nachweis hierfür ist aber thatsächlich noch nicht erbracht. Nehmen wir nun aber eine solche Ableitung für die Stickstoffassimilate, sowie für Kohlenstoffassimilate an, so steht für letztere bereits sicher, dass sie innerhalb der Blätter ihren Weg in den Gefässbündelscheiden einschlagen. Zunächst gelangen sie in die Mesophyllscheide, das Phloeoterma, falls ein solches abgegrenzt ist, und dann weiter in die, dem Centralcylinder zugehörigen Scheidenelemente, die Stelolemmen. Bei den Nadelhölzern, wie besonders prägnant bei Pinus-Arten, werden in der augenscheinlichsten Weise die Kohlenstoffassimilate sofort dem Centralcylinder übermittelt. Das Gefässbündel selbst übernimmt nicht dieselben zur Abwärts-

1) Vgl. im Uebrigen die Litteraturzusammenstellung bei Schimper, l. c. Sp. 149.

2) Untersuchungen über Stickstoff-Assimilation in der Pflanze, Ber. d. Deut. Bot. Gesell., 1890, p. 331.

3) l c. p. 332.

4) l. c. p. 335.

5) Beobachtungen über die Eiweissbildung in den chlorophyllführenden Pflanzen. Arbeiten der St. Petersb. Naturf. Gesell., Bd. XVIII, 1887, p. 1; vergl. auch Bot. Centralbl., Bd. XXXIX, p. 352.

leitung, wohl aber, aller Wahrscheinlichkeit nach, die Stickstoffassimilate, die durch Vermittlung bestimmter Sammelzellen dem Siebtheil zugeführt werden. Mit den Gefässbündelscheiden gelangen die Kohlehydrate in den Centralcylinder des Stammes, um, in den primären Theilen desselben, im Umkreise der Gefässbündel weiter geleitet und im Stamme selbst, vornehmlich dessen Knoten, deponirt oder zu anderweitigen Reservestoffbehältern oder Verbrauchsorten geführt zu werden. Bei secundärem Zuwachs bewegen sich die Kohlehydrate in dem Parenchym der Bastzone abwärts, um von diesem aus in die Markstrahlen, das Holzparenchym, eventuell das Mark zu treten und dort auch abgelagert zu werden. Die primäre Rinde der Stammorgane greift in der Jugend in die Assimilation ein, ist aber an der Abwärtsleitung der Assimilate nicht betheiligt. Sie verräth vielmehr oft deutlich durch ihren Bau, dass sie darauf eingerichtet ist, die erzeugten Assimilate an den Centralcylinder abzuliefern. Die sogenannte Stärkescheide, im Stamme, die meist eine innerste Rindenschicht, somit ein Phloeoterma ist, betheiligt sich ebenfalls nicht an dem Leitungsvorgang, zeichnet sich vielmehr durch die grosse Unbeweglichkeit der in ihren Zellen eingeschlossenen Stärke [1]) aus, welche nachgewiesener Maassen nur zu localem Verbrauch angesammelt wird. — Die Stickstoffassimilate wandern innerhalb der Siebröhren weiter, um durch Vermittlung von eiweissführenden Bastparenchymzellen oder von Geleitzellen, an bestimmte Elemente des angrenzenden Gewebes übermittelt, in Reservestoffbehältern deponirt oder sofort verbraucht zu werden. Bei Holzgewächsen findet ein Theil der nach abwärts geleiteten Stickstoffassimilate für den Dickenzuwachs Verwendung, ein anderer Theil kehrt aber mit dem Wasserstrom nach den Vegetationspunkten zurück. Dass bei gymnospermen und dicotylen Holzgewächsen ein starker Verbrauch von Siebröhreninhalt durch die Cambiumthätigkeit bedingt wird, geht aus allen Versuchen mit entlaubten und entästeten Stämmen hervor, dass aber die Versorgung des Cambiums eine specifische Function der Siebröhren wäre, wie es Blass [2]) im Anschluss an Frank [3]) behauptet, ist keinesfalls

1) Vgl. Heine, Ueber die physiologische Function der Stärkescheide, Ber. d. Deut. Bot. Gesell., 1885, p. 189.

2) Untersuchungen über die physiologische Bedeutung des Siebtheils der Gefässbündel, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 258.

3) Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, 1890, p. 162 und 163.

zutreffend. Die Beziehung des Siebröhreninhalts zu der Cambiumthätigkeit ist keine andere, als zu jedem anderen Meristem, dem er die nöthigen Stickstoff- und jedenfalls auch Schwefel- und Phosphor-Assimilate zu liefern hat. Da das Cambium viel Siebröhreninhalt consumirt, so kann es auch nicht Wunder nehmen, dass vielfach ein bestimmtes Verhältniss zwischen der Zuwachsstärke und der Ausbildung des thätigen Siebtheils zu beobachten ist. Dass ebenso häufig der Siebtheil in keiner Beziehung zu einem thätigen Cambium steht, zeigen die geschlossenen Gefässbündel und deutlicher fast noch die isolirten Siebstränge, die einer ganzen Anzahl von Pflanzenfamilien zukommen. Bei Cucurbita treten transitorische Siebstränge auf, welche zur Ernährung ganz bestimmter Gewebe während deren Ausbildung dienen. Kräftige Siebtheile, meist bei relativ reducirter Ausbildung des Gefässtheils, führen nach Früchten, die eine starke Ernährung verlangen. Die in den Gefässbündeln der Gramineen und Palmen nach abwärts erfolgende gleichmässige Reduction von Gefässtheilen und Siebtheilen hat auch für letztere eine ganz bestimmte Bedeutung. Durch diese Reduction kommen nämlich, wie wir früher gesehen haben, die Geleitzellen nach einander mit den an den Siebtheil grenzenden Parenchymzellen in Berührung und übermitteln denselben den Inhalt der Siebröhren. Jedenfalls handelt es sich darum, die Reservestoffe schon im Stamme abzulagern, in welchem sie den neu entstehenden Trieben, der Blüthen- und Fruchtbildung, leicht zugänglich bleiben. Bei Zea wies der amphivasale Bau bestimmter Gefässbündel innerhalb der Stengelknoten darauf hin, dass aus diesen Stengelknoten wie aus einem Reservestoffbehälter geschöpft werden soll; innerhalb der Knoten ist es aber auch, wo die abwärts laufenden Gefässbündel eine Reduction erfahren. Auch relativ hohe, mit unterirdischen Rhizomen perennirende Gramineen kommen mit dieser Einrichtung aus, die es ihnen jedenfalls gestattet, schon bald nach dem Austreiben, die Rhizome für die weitere Triebbildung hinlänglich mit Reservestoffen zu versorgen. In anderen Fällen, wo es auf eine besonders ergiebige Versorgung der Rhizome ankommt, laufen die Gefässbündel unverändert bis zu diesen fort. Lecomte [1]) hebt in seiner

---

1) Contribution à l' étude du liber des Angiospermes, Ann. d. sc. nat. Bot., VII. sér., T. X, p. 240 ff.

Arbeit über Siebröhren ganz allgemein hervor, dass bei Pflanzen, welche Reservestoffe im Rhizom deponiren, die Siebröhren meist zahlreicher und gut entwickelt sind; dass die Siebröhren im Allgemeinen um so zahlreicher auftreten und um so besser sich entwickelt zeigen, je tiefer die Reservestoffbehälter liegen, je dünner die Stämme (Vitis, Aristolochia), je grösser und zahlreicher die Blätter sind. Monocarpische Gewächse, die durch die Dimensionen ihrer Stengel, ihrer Blätter und Früchte sich auszeichnen, besitzen nach Lecomte zahlreiche wohl entwickelte Siebröhren, um die entsprechenden, in den Blättern erzeugten Assimilate nach ihren Bestimmungsorten zu führen. Pflanzen, welche durch grosse Gefässe ausgezeichnet sind, sollen auch grosse Blattflächen und entsprechend kräftige Assimilation aufweisen und somit auch grosse Siebröhren brauchen. Im Blatte ist nach Lecomte der Siebtheil stets stärker im Verhältniss zum Gefässtheil ausgebildet als im Stamme, und in diesem stärker als in der Wurzel. Im Grossen und Ganzen kann ich diesen Lecomte'schen Behauptungen beipflichten, wenn auch das entsprechende Verhalten nicht immer gleich ausgeprägt in die Erscheinung tritt.

Wir haben im anatomischen Theile dieser Arbeit speciell für Cucurbita zu zeigen gesucht, wie Uebergangszellen und erweiterte Geleitzellen in dem der Blattunterseite zugekehrten Siebtheile der Gefässbündel zur Aufnahme der Stickstoffassimilate des grünen Blattes bestimmt und nur in diesem ausgebildet sind, hingegen den Gefässbündeln der Blumenblätter und sonstiger Organe der Blüthe und der Frucht fehlen. Nur die unteren Siebtheile im Blatte zeigen aber diese Einrichtung, während die oberen, wie diejenigen der Blüthentheile, für Zuleitung bestimmt sind und innerhalb des grünen Blattes, mit vollendeter Ausbildung desselben, ihre Aufgabe im Wesentlichen vollendet haben.

Erinnern möchte ich an dieser Stelle auch, dass wir gefunden haben, dass die Siebröhren unserer Holzgewächse im Winter nicht selbst als Reservestoffbehälter fungiren, vielmehr ihren Inhalt im Spätherbste schon durch Vermittlung der Geleitzellen an die Parenchyme übermitteln. Sie erscheinen daher im Winter inhaltsarm und verschliessen sich zugleich, auch wenn sie mehrjährige Thätigkeit behalten sollen, mit Calli. Diese werden im Frühjahr bei den für wiederholte Thätigkeit eingerichteten Siebröhren aufgelöst, worauf sich diese wieder

mit Inhalt füllen. Der Verschluss im Winter soll jedenfalls unerwünschte Füllungen und Inhaltsbewegungen in den Siebröhren verhindern. — Lecomte giebt an[1]), dass Cucurbita-Siebröhren im Dunkeln sehr starke Calli bilden, die im Lichte wieder schwinden. Dasselbe will Lecomte bei Ampelopsis beobachtet haben. Das hätte jedenfalls dieselbe Bedeutung wie der Verschluss im Winter, bei ausgeschlossener Assimilation. Junge Vitissprosse, die Lecomte im Januar ins Gewächshaus brachte, lösten alsbald die dem Cambium näheren Calli; die äusseren waren, als die Untersuchung vorgenommen wurde, auch schon in Veränderung begriffen.

Dass die Geleitzellen sich wie die Siebröhren ihres Inhalts im Winter entledigen, habe ich im anatomischen Theile ebenfalls zu zeigen gesucht.

Da die Cambiumthätigkeit im Allgemeinen von oben nach unten fortschreitet, so kann die Füllung der neu angelegten Siebröhren auch nur in absteigender Richtung naturgemäss erfolgen. Wo die Cambiumthätigkeit sich am ganzen Stamme zugleich einstellt, beginnt sie ja so gut wie ausschliesslich mit Holzbildung, so dass auch dann eine fortschreitende Füllung der Siebröhren in Richtung der absteigenden Assimilate möglich bleibt. Ob aber eine solche Füllung nicht unter Umständen auch auf Kosten solcher Substanz beginnen kann, welche zuvor von älteren Siebröhren an die angrenzenden Parenchyme abgegeben wurde, kann ich nicht entscheiden.

Recht charakteristisch für das gegenseitige Verhältniss der Siebröhren ist wohl die im anatomischen Theile constatirte, sich alljährlich in den mehrere Jahre am Stamme verbleibenden Coniferennadeln wiederholende Neubildung von Siebröhren. Besonders in den Kiefernadeln werden so in jeder Vegetationsperiode die Siebröhren in voller Zahl ersetzt, während nur wenige neue Tracheïden zur Ausbildung gelangen. Es gilt hier eben, bei der mangelhaften radialen Verbindung der Siebröhren unter einander, alljährlich neue Siebröhrenbänder zu schaffen, die sich direct in die innerhalb der Stammtheile erzeugten fortsetzen, während dies bei den Tracheïden weniger nothwendig erscheint, da eine allseitige Verbindung dieser Elemente innerhalb der Kurztriebspur gegeben ist.

---

1) l. c. p. 313.

Wo der Siebtheil über Cribralparenchym verfügt, treffen im Allgemeinen die Geleitzellen der Siebröhren nicht auf einander und können somit den übernommenen Inhalt der Siebröhren nicht auf Entfernung leiten. Wie erwünscht alsdann die Verbindung mit gut anschliessenden Cribralparenchymzellen ist, lehrt wohl am besten Cucurbita, wo selbst die transitorischen, oft auf nur eine Siebröhre nebst Geleitzellenreihe reducirten Siebstränge von Cribralparenchymzellreihen begleitet werden.

Die Bewegung des Siebröhreninhalts nach den Verbrauchsorten, beziehungsweise nach den Orten geringeren Widerstandes, ist nicht ganz unähnlich der Bewegung des Blutungssaftes unter Druck, wenn die Leitungsbahnen geöffnet wurden, wobei ja auch die in diesem Safte gelösten Assimilate die Schliesshäute der Hoftüpfel zu passiren haben.

Dass die Leitung der Stickstoffassimilate aus den Blättern in den Stamm und zunächst auch in diesem durch die Siebröhren erfolgt, dürfte nach alledem wohl hinlänglich gestützt erscheinen. Ich glaube auch kaum, dass die hier vertretene Ansicht von der Function der Siebröhren durch die letzte Publication von Blass [1]) erschüttert werden dürfte. Diese Publication bildet ein gleichwerthiges Seitenstück zu Bokorny's Abhandlungen über die Wasserbewegung in der Pflanze, und dürfte die gleiche Anerkennung finden [2]).

In den embryonalen Theilen der Pflanze werden bekanntlich die Primanen alsbald angelegt; doch das Meristem selbst erreichen sie nicht. Es müssen demgemäss die von den Primanen geführten Stoffe an die jugendlichen Gewebe übermittelt werden und von einer lebendigen Zelle zur andern dann weiter wandern. Wie Blass dazu kommt, aus dem Umstande, dass Siebröhren nicht „bis an die Vegetationsspitze, dort, wo am meisten Baustoffe gebraucht werden“, reichen, gegen ihre Function der

---

1) Untersuchungen über die physiologische Bedeutung des Siebtheils der Gefässbündel, Ber. d. Deutsch. bot. Gesell., 1890, p. 56, und Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII, p. 253.

2) Vergl. die inzwischen erschienene Besprechung in der Botanischen Zeitung, 1890, Sp. 512, wo bereits A. Fischer sein Bedenken gegen eine Anzahl der Blass'schen Schlussfolgerungen äussert, ausserdem die Bemerkungen von Lecomte, „Apropos d'un travail de M. Blass sur le rôle des tubes criblés“, im Journ. de Botanique, 1890, p. 299.

Eiweissleitung zu schliessen[1]), ist schwer ersichtlich. Die Knospen der Holzgewächse verhalten sich zu den in den Tragsprossen angehäuften Assimilaten wie eine Keimpflanze zu den Reservestoffen, die ihr im Samen zu Gebote stehen; ausserdem verfügen die Knospen aber auch über entferntere Bezugsquellen, die ihnen durch Vermittlung der Gefässbündel zugänglich gemacht werden; besonders weit zurück können sie vermöge der Wasserbahnen schöpfen.

Eine gewisse Rolle hat in der Frage nach den Strombahnen der Assimilate die Ueberwallung von Stammstöcken gespielt. Hauptsächlich handelte es sich hierbei freilich um den Entscheid, ob die Verwachsung der Wurzeln eines solchen Stockes mit denjenigen eines andern nothwendig sei, oder ob der Stock längere Zeit die zur Cambiumthätigkeit erforderliche Nahrung in sich selbst finden könne. Goeppert[2]) behauptete, dass in allen Fällen solcher Ueberwallung Wurzelverwachsung vorliege. Er giebt an, dass, wenn der Nährstamm durch Windstösse entwurzelt oder wenn er gefällt wird, auch der von ihm ernährte Stumpf alsbald vertrocknet; ebenso erzeugt sich nach Goeppert keine Ueberwallung bei isolirt stehenden, abgehauenen Stöcken und ebensowenig, wenn sämmtliche auf einem bestimmten Platze befindlichen, obschon mit ihren Wurzeln innig verwachsenen Stämme gleichzeitig abgehauen werden[3]). Andererseits behauptet freilich Th. Hartig, auch ein in einem Buchenbestande isolirt stehender Stumpf einer Lärche sei noch zwöf Jahre lang im Holzzuwachs geblieben[4]). Ueber das auffallendste Beispiel eines anhaltenden Dickenwachsthums von Baumstumpfen hat Trécul[5]) berichtet. Es bezieht sich auf Taxodium distichum. Trécul sah in den sumpfigen Wäldern von Louisiana Stöcke von Stämmen, die 50 bis 60 cm über dem Boden abgeschnitten worden waren, kräftig fortwachsen. Er sah darunter Stöcke

1) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII, p. 255.

2) Beobachtungen über das sogenannte Ueberwallen der Tannenstöcke, 1842.

3) l. c. p. 15.

4) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg., 1858, p. 330.

5) De l'influence des décortications annulaires sur la végétation des arbres dicotyledonés, Ann. d. sc. nat., IV. sér., Bd. III, 1855, p. 360.

von 50 bis 75 cm Durchmesser, im Innern ausgehöhlt. Die Ueberwallungswülste hatten sich 1 bis 2 cm dick über die Oberfläche dieser Stöcke gelegt, ja sie waren abwärts in diese Höhlung eingedrungen. An den durch Wasser entblössten Wurzeln benachbarter Stämme waren die Verwachsungen vielfach zu constatiren. Nach den Angaben von Goeppert und Trécul ist nicht zu zweifeln, dass für gewöhnlich bei solchen, längere Zeit überwallenden Stöcken Verwachsungen im Spiel sind, und dass diese Stöcke von benachbarten belaubten Stämmen der gleichen Art ernährt werden. Auch dann ist aber eine Aufwärtsleitung von Assimilaten in solchen Stöcken nothwendig, und zwar nicht allein von Kohlehydraten, sondern von eiweissartigen und verwandten Körpern. Dass diese innerhalb der Parenchyme und der Siebröhren der Bastzone vor sich gehen sollte, dürfte uns wohl jetzt recht unwahrscheinlich erscheinen. Nichts liegt hingegen näher als die Annahme, dass diese Aufwärtsleitung hier innerhalb der Wasserbahnen erfolgt, so die Assimilate bis zur oberen Schnittfläche, an welcher das Wasser verdunstet, gelangen und von dieser aus sich seitlich ausbreiten, um in den Bastparenchymen der Bastzone sowie den neu durch die Thätigkeit der Cambiumzone angelegten Siebröhren wieder abwärts geführt zu werden. Die Cambiumwucherung an der Schnittfläche führt zugleich zur Ausbildung des Ueberwallungswulstes. Zu vergleichen ist dieser ganze Vorgang jetzt ohne weiteres mit dem Ergebniss eines der A. Fischer'schen Versuche. Dieser Versuch, über den ich an anderer Stelle schon berichtet habe, bestand darin, dass Fischer entlaubte Aststücke, welche Glycose in ihren Wasserbahnen führten, aufrecht oder umgekehrt in Wasser stellte, und alsbald an der nach oben gekehrten, transpirirenden Schnittfläche eine Ansammlung von Kohlehydraten, beziehungsweise Stärkebildung, constatirte [1]). — Da die Angaben von Th. Hartig fast immer richtig sind, so lässt sich auch nicht ohne weiteres behaupten, dass ein Dickenzuwachs isolirter Stöcke, deren Wurzeln mit denjenigen von Nachbarstämmen nicht verwachsen sind, ausgeschlossen sei. Der Dickenzuwachs mag da zunächst auf Kosten der vorhandenen Assimilate erfolgen,

---

1) Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII, p. 147.

weitere Assimilate zu einem geringen Dickenwachsthum aber vielleicht von einem assimilirenden Phelloderma geliefert werden.

Ein ähnlicher Vorgang wie bei dem Zuwachs des Stammstocks liegt bei der Ueberwallung von Aststummeln (Aststutzen) am Stamme vor. Bekanntlich muss aber bei der Grünästung, das heisst, bei der Entfernung lebender Aeste vom Stamme, diese Aestung möglichst nahe am Stamme, und parallel zu diesem, ausgeführt werden, da eine Ueberwallung des Aststutzes nur bis auf wenige Centimeter Entfernung vom Stamme zu erfolgen pflegt. Ein längerer Aststutz stirbt hingegen, bei Grünästung, ebenso wie bei dem natürlichen Ausästungsprocess, bis auf wenige Centimeter vom Mutterstamm ab. Weiter reicht die Ernährung von diesem aus in den functionslosen Ast oder Zweig nicht hinein [1]).

Nicht umhin konnte ich, im Laufe dieser Arbeit wiederholt auf die Bedeutung der Sklerenchymfasern einzugehen, und zahlreiche Bemerkungen über dieselben finden sich in dem anatomischen Theile zerstreut. Hier, wo die Leitungsvorgänge der Assimilate behandelt werden, sei nur daran erinnert, dass die Bastfasern und so auch ein Theil der Sklerenchymfasern des Grundgewebes, von der mechanischen Bedeutung, die ihnen etwa zukommt, abgesehen, sich als Leiter und Behälter für Nebenproducte erwiesen. Sie dienen der Ableitung der Nebenproducte wo sie zu fortlaufenden Strängen verbunden sind, unter Umständen aber auch nur ganz localer Aufspeicherung solcher Producte. Aus diesem Grunde stehen sie vielfach zu dem Calciumoxalat, in bestimmten Pflanzen auch zu Kieselsäureverbindungen in Beziehung. Sie lagern dieselben in ihrem eigenen Körper oder in bestimmten anschliessenden Zellen oder Intercellularen ab. Fast in allen Fällen dienen sie der Ablagerung von Membranstoffen, selbst auch dort, wo durch diese Mehrablagerung ein mechanischer Vortheil nicht erzielt wird. Sie werden in vielen ihrer Functionen, soweit es sich um locale Ablagerungen handelt, durch Steinzellen und sonstige Idioblasten unterstützt, auch wohl vertreten. — Den Holzfasern fallen ganz vorwiegend nur mechanische Aufgaben zu, nicht selten dienen sie

---

1) Vergl. hierzu R. Hartig, Lehrbuch der Baumkrankheiten, II. Aufl., 1889, p. 221 ff.

zugleich als Reservestoffbehälter, nur relativ selten als Secretbehälter. Die Bastfasern haben umgekehrt nur relativ selten die Aufgabe, als Reservestoffbehälter zu fungiren.

Die Milchröhren finden sich in dieser meiner Arbeit kaum berücksichtigt, und habe ich denselben eine besondere Aufmerksamkeit auch nicht zugewandt. Bei den grossen Mengen von Material, die durch meine Hände gingen, konnte ich aber nicht umhin, mir ein Urtheil auch über deren Rolle zu bilden. Ich halte die Milchröhren für Secretbehälter, bestimmt, Nebenproducte des Stoffwechsels aufzunehmen und weiterzuleiten. Dass in den Milchröhren Eiweiss, Zucker und Stärke in relativ geringen Mengen gefunden werden, ändert nichts an diesem Verhältniss. Denn es sind diese Stoffe eben zum eigenen Lebensunterhalt dieser lebendig bleibenden Elemente nothwendig. Einen lebendigen Zellkörper müssen aber die Milchröhren aus demselben Grunde wie die Siebröhren behalten, damit ihr Inhalt in die Umgebung nicht diffundire. Dass die Milchröhren vermöge der giftigen Stoffe, die sie führen, den Pflanzen Schutz gewähren, muss als eine secundär erworbene Function gelten, ähnlich wie den Sklerenchymfasern, weil sie durch starke Wandverdickung sehr widerstandsfähig wurden, mechanische Aufgaben zufallen konnten. — Einige Versuche, um das Verhalten des orangerothen Milchsaftes von Philodendron erubescens zu ermitteln, habe ich angestellt, indem ich aus kurzen, mit Achselknospen versehenen Stammstücken desselben neue Pflanzen erzog. Ein merklicher Verbrauch des Milchsaftes war während des Austreibens der Knospen nicht zu constatiren. — Meine Ansicht über die Bedeutung des Milchsaftes in den Pflanzen stimmt sonach mit der Schimper'schen [1]) überein. Wenn Faibre [2]) fand, dass auch im oberen Theile entlaubte und oberhalb des belaubten Abschnittes geringelte Stecklinge von Ficus elastica ihre Knospen entfalten, so hängt das eben damit zusammen, dass ihnen die Nahrungsstoffe auch durch den Holzkörper mit dem Wasserstrom zugeführt werden können, nicht

1) Ueber die Bildung und Wanderung der Kohlehydrate in den Laubblättern, Bot. Ztg. 1885, Sp. 774.

2) Recherches sur la circulation et sur le rôle du latex dans le Ficus elastica, Ann. d. sc. nat., Bot., V. sér., Bd. VI, p. 47.

aber dass es, wie Faibre annimmt, durch die im Innern der Sprosse befindlichen Milchröhren geschehen sei. — Als Vertreter der Siebröhren, wie es öfter geschehen ist, dürfen die Milchröhren keinesfalls angesehen werden. Ihre oft auffällige Beziehung zum Siebtheil [1]) ist keine andere als diejenige, welche auch die Bastfasern zu demselben zeigen.

Das Calciumoxalat gilt als ein Nebenproduct des Stoffwechsels und die grossen Mengen, in welchen es, vornehmlich beim Laubfall, von der Pflanze abgeworfen wird, stützt hinlänglich diese Auffassung. Es ist sehr wahrscheinlich geworden, dass die Oxalsäure als ein Nebenproduct bei der Synthese der Eiweisskörper entsteht und an den Kalk gebunden wird, welcher den bei demselben Vorgang zerlegten Calciumsalzen entstammt [2]). Dass das abgelagerte Calciumoxalat von den Entstehungsorten vielfach fortwandert, um an entsprechenden Orten abgelagert zu werden, haben wir, im Anschluss an Schimper, im anatomischen Theile dieser Arbeit vielfach zu zeigen gesucht; dass thatsächlich das Calciumoxalat gelöst in den die Ablagerungsstellen umgebenden Geweben vertreten ist, gelang es neuerdings Kohl [3]) nachzuweisen. Die auf den Nachweis des gelösten Caliumoxalat an den Orten, wo dasselbe zu erwarten war, von Kohl gemachten Untersuchungen haben ganz allgemein positive Resultate ergeben, so dass an einer Bewegung des Calciumoxalats in gelöster Form innerhalb der Gewebe sich kaum mehr zweifeln lässt. Dass bereits abgelagertes Calciumoxalat unter Umständen wieder aufgelöst und in den Stoffwechsel wieder hineingezogen, beziehungsweise zu Stofftransport wieder verwendet werden kann, haben wir auch Gelegenheit gehabt, in Orchideenknollen zu constatiren [4]). Nach Gregor Kraus [5]) soll das

1) Siehe z. B. de Bary, Vergl. Anat. p. 447.

2) Vergl. Palladin, Bildung der organischen Säuren in den wachsenden Pflanzentheilen, Ber. d. Deutsch. Bot. Gesell. 1887, p. 325; Schimper, Zur Frage der Assimilation der Mineralsalze durch die grüne Pflanze, Flora 1890, p. 242; Kohl, Zur physiologischen Bedeutung des oxalsauren Kalkes in der Pflanze, Bot. Centralbl., Bd. XLIV, p. 337.

3) l. c. p. 342.

4) p. 424.

5) Ueber das Kalkoxalat der Baumrinden. Halle, 6. Januar 1891.

eine partielle Wiederauflösung des Calciumoxalats auch in dem Baste, beziehungsweise der Rinde unserer Bäume erfolgen. Gregor Kraus bestimmte den Gehalt von Zweigen mehrerer Bäume und Sträucher im Winter und Frühjahr auf ihren Gehalt an Calciumoxolat und fand, dass während der Sprossbildung das Calciumoxalat um 16 bis 50% abnimmt. Gregor Kraus weist im Anschluss an diese Ergebnisse darauf hin, dass das Calciumoxalat gar nicht so unlöslich sei, vielmehr in den gewöhnlichen Pflanzensäuren, wie Wein-, Aepfel-, Citronen-, Trauben-, Bernstein-, Fumarsäure u. s. w., und so auch in einer Reihe ihrer Salze, wenn auch langsam und in geringem Grade, sich auflöse. Selbst bei starker Verdünnung greifen die Lösungen dieser Körper das Calciumoxalat an.

Dieses Wiederauflösen und Verwerthen eines Theiles des als Nebenproduct entstandenen Calciumoxalats in den Rinden der Holzgewächse erinnert auch an das Wiederauflösen und jedenfalls auch Verwerthen der Calli obliterirter Siebröhren in denselben Rinden, während diese Calli beim Laubfall mit den Blättern abgeworfen werden.

Die trachealen Bahnen der Wasserpflanzen.

Sollten die Lumina trachealer Bahnen, wie man das früher annahm, der Luftleitung dienen, so müssten sie bei Wasserpflanzen besonders stark entwickelt sein. Gerade das Gegentheil ist dort aber der Fall [1]). Bei amphibischen Pflanzen, die der Lebensweise auf dem Lande wie im Wasser angepasst sind, ist auch stets an den submersen Theilen eine Reduction der trachealen Bahnen zu beobachten, und dieses tritt selbst ein, wenn Landpflanzen gezwungen werden, unter Wasser zu wachsen [2]). Bei submers lebenden Pflanzen ist die Aufgabe der trachealen Bahnen sehr reducirt. Das Wasser und die in demselben gelösten Salze werden ja von der Pflanze nicht mehr

1) Vergl. H. Schenck, Vergleichende Anatomie der submersen Gewächse, Bibliotheca botanica 1886, Heft I, 1886, p. 8.

2) Vergl. Costantin, Structure de la tige des plantes aquatiques, Ann. d. sc. nat., Bot., VI. sér., T. XIX, p. 294 ff., und H. Schenck, Ueber Structuränderung submers vegetirender Landpflanzen, Ber. d. Deut. bot. Gesell. 1884, p. 481.

durch Vermittlung der Wurzel allein, vielmehr mit der ganzen Oberfläche aufgenommen. Die Transpiration, welche Raum für das nachrückende Wasser schafft, fällt weg und somit die bebestimmende Ursache der Wasserströmung. Wenn trotzdem die trachealen Bahnen als Wasserbahnen erhalten bleiben, so ist es, weil sie der Beförderung des Blutungssaftes dienen müssen. Da ihnen nur diese Aufgabe zufällt, sind sie entsprechend reducirt. Der Blutungssaft hat aber keine andere Bedeutung für Wasserpflanzen, als wie für Landpflanzen, diejenige nämlich, die in Entwicklung begriffenen Theile mit anorganischen und organischen Nahrungsstoffen zu versorgen. Um in Bewegung gesetzt werden zu können, muss der Blutungssaft, da die Transpirationsverluste wegfallen, irgendwo hervorgepressst werden. Da spielt sich der nämliche Vorgang ab, wie bei Landpflanzen, wenn zu den Wasserspalten derselben, bei herabgesetzter Transpiration, Blutungswasser hervortritt. Hieraus erklärt sich in ungezwungendster Weise die so häufige Ausbildung von Wasserspalten an submersen Pflanzentheilen, während die der Transpiration dienenden Luftspalten naturgemäss fehlen. Wasserspalten finden sich bei Callitriche-Arten [1]), und zwar bei Callitriche autumnalis über einem Epithem, in welchem das Gefässbündel endet. Diese Wasserspalten sind aber nur an jungen, noch bei weitem nicht ausgewachsenen Blättern, wie schon Borodin angab, vorhanden, später stirbt das Gewebe der Blattspitzen ab, bräunt sich, eine unregelmässige Oeffnung ist an Stelle der Wasserspalte vorhanden und zeichnet sich schon für das blosse Auge als braunes Pünktchen aus. In der That geht aus unseren eben gegebenen Auseinandersetzungen hervor, dass die Wasserspalten hier nur während der Entwicklung von Nutzen sein können, so lange nämlich, als eine Ernährung durch Blutungssaft erforderlich ist; hingegen nicht mehr nach vollendeter Entfaltung, wenn das Blatt für seine weitere Ernährung sorgen kann. Aehnlich wie bei Callitriche autumnalis ist es bei Callitriche verna [2]). Die Wasserspalten entwickeln sich auch bei dieser Pflanze sehr frühzeitig und werden später ebenfalls zerstört. Auch bei Ranunculus aquatilis und divari-

---

1) Borodin, Bot. Ztg. 1869, Sp. 883, und Ueber den Bau der Blattspitze einiger Wasserpflanzen, Bot. Ztg. 1870. Sp. 844.
2) Bot. Ztg. 1870, Sp. 847.

catus [1]) ist Aehnliches zu beobachten, so auch bei Hippuris vulgaris [2]). Bei letzterer sieht, nach Borodin, an älteren Blättern der Rand, in Folge Zerstörung des betreffenden Gewebes, wie ausgebissen aus. Ebenso berichtet Askenasy [3]), dass bei Hottonia palustris das gesammte Gewebe der Blattspitze, an der sich die Wasserspalten finden, vor dem völligen Auswachsen des Blattes abstirbt. Askenasy bemerkt hierzu, das Vorkommen solcher „Spaltöffnungen" an Orten, wo sie für die Pflanze ohne allen Nutzen sind und auch nur eine ephemere Existenz haben, sei einer der merkwürdigsten Fälle der Bildung rudimentärer Organe, das ihm aus dem Pflanzenreich bekannt geworden. Es geht eben diesen Organen wie so vielen anderen, die man für rudimentär erklärte, weil man sich eine Function für dieselben nicht zurechtzulegen wusste. Neuerdings giebt Sauvageau [4]) eine Oeffnung für die Unterseite der Blattspitze von Potamogeton densus an, die sich ebenfalls über dem Ende des Gefässbündels befindet. Er vergleicht sie mit einer Wasserspalte. Seinen Angaben nach müsste sich aber diese Oeffnung insofern etwas anders als die zuvor angeführten Wasserspalten verhalten, als sie in dem ganz jungen Blatte fehlt und erst während der Ausbildung des Blattes, durch Wegfall einiger Epidermiszellen, entsteht. Alle Arten von Potamogeton sollen diese apicalen Oeffnungen an ihren Blättern besitzen, wenn auch ihre Lage und Ausbildung ein wenig modificirt wird. Sauvageau fand auch bei einigen marinen Pflanzen, so den Zostera-Arten [5]), Halodule und Phyllospadix [6]), dass die Blattspitze sehr bald verloren geht, wodurch, wie er angiebt, das Gefässbündelende an einer offenen Stelle mündet. Sauvageau meint, dass diese apicalen Oeffnungen bei Wasserpflanzen auf das Vorhandensein einer Wassercirculation, ähnlicher Art wie sie den Landpflanzen zukommt, hinweisen. Unentbehrlich sei diese

1) Askenasy, Ueber den Einfluss des Wachsthumsmediums auf die Gestalt der Pflanze, Bot. Ztg. 1870, Sp. 235, Nachschrift.

2) Borodin, Bot. Ztg. 1870, Sp. 848.

3) l. c. Sp. 235.

4) Sur une particularité de structure des plantes aquatiques, Comptes rendus, 1890, 11 août.

5) Vergl. auch Observations sur la structure des feuilles des plantes aquatiques, Journal de Botanique, 1890, p. 45 u. 245.

6) Sur la structure de la feuille des genres Halodule et Phyllospadix, ebendas. 1890, p. 322 u. 328.

Circulation für jene Pflanzen wohl aber nicht, da den submersen Gattungen Ruppia, Zannichellia, Cymodocea, Thallasia etc. die apicalen Oeffnungen abgehen. Vorbehaltlich weiterer Untersuchungen möchte ich hier bereits die Vermuthung aussprechen, dass die apicalen Oeffnungen, welche Sauvageau angiebt, und die auf das Absterben bestimmter Gewebstheile zurückzuführen sind, erst nach Schluss derjenigen Phänomene ausgebildet werden, welche mit der Ernährung der jungen Gewebe verbunden sind. Eine Auspressung von Blutungssaft zu diesem Zwecke dürfte somit auch früher schon erfolgen, während die Spitzen der Blätter noch durch besondere, an Epitheme functionell erinnernde Elemente der Epidermis, beziehungsweise auch des darunter befindlichen Gewebes, abgeschlossen sind. Das darauf folgende Oeffnen der Blattspitze möchte ich aber mit Secretionserscheinungen in Verbindung bringen, ähnlich wie ja auch bei Landpflanzen Gefässbündelenden zu diesem Zwecke verwendet werden können. Auch die Beseitigung dieser Nebenproducte aus den Wasserbahnen verlangt Blutungsdruck. Während aber ein lebendiger Abschluss gegen die Umgebung während der Entwicklungsvorgänge wohl nöthig war, um den Nährstoffe führenden Blutungssaft von dem umgebenden Wasser zu sondern, mag ein solcher Abschluss kaum mehr für Nebenproducte erforderlich erscheinen. Einen anderen Abschluss der Spitzen in Entwicklung begriffener Blätter als durch Wasserspalten fand andererseits Borodin [1]) schon bei Myriophyllum, wo jeder Zipfel eines solchen Blattes mit einem eigenthümlichen Anhang versehen ist. Die parenchymatischen Zellen dieses Anhangs führen kein Chlorophyll und sind zur Zeit der Chlorophyllbildung im jungen Blattgewebe mit stark lichtbrechendem Inhalt erfüllt. Schon frühzeitig fängt dieser Anhang an, in basipetaler Richtung abzusterben. Aehnliche Anhänge sind auch den jungen Blattzipfeln von Ceratophyllum (demersum) eigen. — Dass es bei den submersen Pflanzen vor allem darauf ankommt, die jugendlichen Gewebe auf dem Wege der trachealen Bahnen zu versorgen, geht auch aus der Angabe von H. Schenck [2]) hervor, dass es „eine ziemlich allgemeine Erscheinung in den Leitbündeln der submersen Pflanzen, besonders

1) Bot. Ztg., 1870, Sp. 849.
2) Vergleichende Anatomie der submersen Gewächse, p. 30.

der Monocotylen“, sei, „dass ursprünglich unter dem Vegetationspunkt im Procambialstrang angelegte Ring- und Spiralgefässe, oder Gruppen solcher, später bei der Streckung der Internodien durch Resorption der Querwand, auch der Längswände, sich in einen mit Flüssigkeit erfüllten Gang umwandeln“, während andere Gefässe nicht hinzugebildet werden, so dass ein ausgebildetes Gefässbündel keine Gefässe mehr, ausgenommen in den Knoten, wo die ursprünglichen Gefässe der Regel nach nicht zerstört werden, besitzt. Die Gänge selbst sind mit einer Flüssigkeit erfüllt, die zuweilen in älteren Indernodien, so bei Elodea, Potamogeton, bräunlich gefärbt erscheint, wodurch nach H. Schenck es den Anschein gewinnt, dass diese Gänge als Excretbehälter fungiren. Am grössten ist die Zahl der Gefässe noch bei solchen Wasserpflanzen, welche leicht Landformen bilden, oder ihre Inflorescenzaxe eine Zeitlang über die Oberfläche des Wassers erheben, oder welche Schwimmblätter bilden. — Von einer Rückbildung des Siebtheils kann hingegen nach H. Schenck nicht gesprochen werden [1]), und frägt es sich auch hier wieder, wie Blass [2]) zu dem Ergebniss kommen konnte, dass bei Wasserpflanzen Siebröhren „nur noch den Charakter von gewöhnlichen Parenchymzellen tragen“. Bei der stattlichen Zahl von Wasserpflanzen, die Blass untersuchte, darunter sogar solche wie Nymphaea alba, Menyanthes trifoliata und das mit sehr schönen Siebröhren ausgestattete Potamogeton lucens, will Blass nur Siebröhren mit einem „Saftraum, einem dünnen Primordialschlauch und Chlorophyllkörnern“ gefunden haben. Dagegen ist die Angabe von H. Schenck vollständig zutreffend, dass die Siebröhren der Wasserpflanzen meist wohl entwickelt sind, und dass sie „auf Querschnitten durch ihr weites Lumen und die Form der Wände in die Augen springen“. Auf Längsschnitten erkennt man die Siebplatten und die in deren Nähe auftretenden winzigen Stärkekörnchen besonders deutlich nach Zusatz von Jodlösung, erstere auch nach Färbung mit Corallin [3]). Dass submerse Pflanzen ihren Siebtheil ganz ebenso wie Landpflanzen brauchen, liegt auf der Hand.

Hervorzuheben wäre noch, dass den submersen Gewächsen

---

1) l. c. p. 30.
2) Ber. d. Deutsch. bot. Gesell., 1890, p. 59.
3) l. c. p. 31.

das secundäre Dickenwachsthum abgeht[1]). Die Haupt- und Nebenaxen gestalten sich gleichartig, und während die Pflanze an den Spitzen ziemlich rasch vorwärtswächst, stirbt sie von hinten in dem einen Falle schneller, in dem anderen langsamer ab. Das Wurzelsystem erlangt an den submersen Pflanzen keine bedeutende Entwicklung, am reichlichsten noch bei solchen, welche eine mehr amphibische Lebensweise führen; wohingegen bei ausschliesslich submersen, welche nicht mehr im Stande sind, Landformen zu bilden, die Wurzeln sogar völlig unterdrückt sein können, so bei Utricularia, Aldrovandia, Ceratophyllum[2]). Da in mehreren Fällen die Wurzeln ganz unterdrückt sind, die Hauptwurzel höchstens am Embryo noch schwach angedeutet erscheint (Ceratophyllum), oder auch an demselben ganz fehlt (Utricularia), so ist, nach H. Schenck, schon aus dieser Thatsache der Schluss zu ziehen, dass die Wurzeln überhaupt bei den submersen Gewächsen von keiner grossen Bedeutung für die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen und für die Zuleitung derselben zu dem assimilirenden Gewebe sein können. „Andererseits erscheint es aber auch nicht angängig“, meint H. Schenck[3]), „die Gefässe oder Gefässgänge in den Wurzeln und Stengeln für völlig zwecklose ererbte Bildungen zu erklären. Möglich, dass sie von Bedeutung sind für die Zuleitung von Bodensalzen zu den wachsenden Regionen und zu den Blüthen.“ Nach dem, was wir jetzt wissen, dürften aber vor allem auch die Gefässe der Wurzeln der Zuleitung des für deren Entwicklung nöthigen Blutungssaftes dienen. Auch die Siebtheile erfahren in den Wurzeln der submersen Pflanzen eine Vereinfachung, die sich aber aus der sehr geringen Dicke dieser Wurzeln hinlänglich erklärt.

Unger glaubte seinerseits[4]) direct nachgewiesen zu haben, dass „auch Wasserpflanzen eine grössere Menge Wasser durch die Wurzeln aufnehmen und durch ihre peripherischen Theile wieder ausscheiden“. Unger führte seine, wie ihm schien, entscheidenden Versuche mit Potamogeton crispus und Ranun-

1) H. Schenck l. c. p. 26.

2) H. Schenck l. c. p. 58.

3) l. c. p. 58.

4) Neue Untersuchungen über die Transpiration der Gewächse, Stzber. d. Wiener Akad. d. Wiss., Bd. XLIV, II. Abth. Math.-naturw. Cl. 1861, p. 364 ff.

culus fluitans aus. Die bewurzelten Theile der Pflanze befanden sich in einem, die belaubten in einem andern mit Wasser erfüllten Gefäss. Zum Schutz des zwischen den beiden Gefässen befindlichen Abschnittes der Pflanze wurde derselbe mit einem hufeisenförmig gebogenen Rohr umgeben. Die beiden Schenkel dieses Rohrs tauchten in die Versuchsgefässe und waren luftdicht mit dem den beblätterten Theil enthaltenden verbunden. Unger giebt nun an, in seinen Versuchen eine Vermehrung des Wassers in demjenigen Gefäss, in welches der beblätterte Theil der Pflanze eingetaucht war, schon nach einem oder einigen wenigen Tagen constatirt zu haben. Nach 8 Tagen betrug die Wasserzunahme für Potamogeton crispus 1,6 gr, nach 7 Tagen für Ranunculus fluitans 0,8 gr. Zur Controle wurde gleichzeitig mit einem Exemplar von Potamogeton crispus experimentirt, dem die Wurzeln genommen waren. Es zeigte sich im letzteren Falle nicht die geringste Zunahme von Wasser in dem Gefäss, in welchem sich der obere Theil befand. Ich habe die Versuche von Unger mit Ceratophyllum demersum wiederholt, doch nur mit negativen Resultaten. Zu den Versuchen dienten zum Theil Pflanzen an ihrem natürlichen Standort, im Weiher des hiesigen botanischen Gartens, zum Theil Pflanzen, die ich dort hatte in Blumentöpfen sich fortwurzeln lassen, um sie dann herauszuheben. Im Weiher selbst liess sich nur mit e i n e m Gefäss experimentiren, in welches der ganze obere beblätterte Theil der Pflanzen übergeführt wurde. Die in Töpfen wurzelnden Exemplare vertheilte ich auf je zwei Gefässe. Wie schon angedeutet, konnte ich eine Zunahme von Wasser in dem, den oberen Theil der Pflanzen enthaltenden Gefäss nicht constatiren. Die Angaben von Unger deshalb in Frage zu stellen, kommt mir nicht zu. Der verschiedene Ausfall der Versuche lässt sich ja in beiden Fällen gleich gut motiviren. Wahrscheinlich ist es in der That nicht, dass eigentlicher Wurzeldruck für Wasserpflanzen wesentlich in Betracht kommen sollte. Sonst würde ja ihr Wurzelsystem nicht so schwach entwickelt sein und unter Umständen nicht ganz fehlen. Es kann sich vielmehr für Wasserpflanzen im Wesentlichen nur um Blutungsdruck handeln, durch lebendige Elemente veranlasst, die über den ganzen Verlauf der trachealen Bahnen vertheilt sind. Bei meinen Ceratophyllum - Exemplaren kam somit, falls ein Auspressen von Wasser und entsprechender

Blutungsdruck im Spiele war, beides in demselben, die beblätterten Theile enthaltenden Gefässe zu Stande. Das Wasser wurde demgemäss in dasselbe Gefäss gepresst, dem es entnommen war. Das mochte in den Unger'schen Versuchen anders gewesen sein, und Stengeltheile an dem Zustandekommen des Blutungsdruckes sich betheiligt haben, die dasjenige Gefäss einschloss, in welchem die unteren Theile der Pflanze sich befanden. Man könnte bei der luftdichten Verbindung des die oberen Theile der Pflanze führenden Gefässes mit dem einen Schenkel des gekrümmten Glasrohrs, das in das andere Gefäss tauchte, an ein Herüberpressen von Wasser durch Luftdruck und eine hierdurch veranlasste Störung der Versuchsergebnisse denken, doch diesem Einwande beugt Unger dadurch gewissermaassen vor, dass er über den negativen Ausfall des Versuches mit einer Pflanze berichtet, der die Wurzeln genommen waren. Für die Betheiligung eines eigentlichen Wurzeldruckes bei dem ganzen Vorgang beweist dieser Versuch nichts, wohl aber hätte das Abschneiden der Wurzel bewirken können, dass alles unter Druck in den unteren Pflanzentheil gepresste Wasser dort auch zu dem offenen Querschnitt wieder austrat.

Umkehrung der Wasserbahnen.

Dass die Umkehrung des Wasserstromes innerhalb der Wasserbahnen sich als solche ohne weiteres bewerkstelligen lässt, haben wir früher schon bei unseren Farbstoffversuchen erfahren. Dass eine Umkehrung der Leitung innerhalb lebendiger Elemente der Rinde auf grosse Schwierigkeiten stossen muss, geht andererseits aus den im vorhergehenden Abschnitte niedergelegten Thatsachen hervor. Versuche, lebendige Pflanzen umzukehren, werden somit gegen die letztgenannte Schwierigkeit in erster Linie anzukämpfen haben.

Den Wasserstrom umzukehren ist, sobald die gegebenen Bedingungen es gestatten, auch an einer lebendigen Pflanze ein Leichtes. Die ältere Litteratur enthält bereits Beispiele dieser Art. So hat Hales zwei Aeste eines Apfelbaumes mit Aesten zweier benachbarter Apfelbäume verwachsen lassen, und dann den ersten Baum aus dem Boden gehoben, wobei er weiter

lebte und wuchs, ungeachtet er in der Luft schwebte [1]). So auch liess Duhamel [2]) eine junge Ulme mit einer älteren verwachsen und schnitt dann den jüngeren Stamm über dem Boden ab. Die Zweige, die dem abgeschnittenen Ulmenstamm unter der Verwachsungsstelle entsprangen, fuhren fort mehrere Jahre lang Blätter zu treiben. — Ich selbst kann über einige in gleicher Richtung ausgeführte Versuche berichten. Ich habe schon an anderer Stelle der Rothbuchen Erwähnung gethan, die auf dem Venusberge bei Bonn in Folge fortdauernden sehr starken Zurükschneidens so abenteuerliche Verwachsungen zeigen. Ein Bild, welches die mögliche Einschränkung der Wasserbahnen zeigen sollte, führte uns einen so verwachsenen Baum schon vor [3]). Aehnliche Bäume wählte ich auch für meine Versuche, welche die Umkehrung des Wasserstromes an der lebendigen Pflanze illustriren sollten, aus. Aeste, die in ihrem oberen Theile mit anderen verwachsen, von ihrem unteren Theile an aber belaubte Zweige trugen, liess ich in der ersten Hälfte des Juni, dicht über ihrer Ursprungsstelle, durchsägen. Die Operation wurde in fünf derartigen Fällen ausgeführt. Der Wasserstrom, der die grünen Seitenzweige des unteren Astabschnittes zu versorgen hatte, musste nach der Operation sofort umkehren, um in entgegengesetzter Richtung Strecken von oft mehr als einem Meter Länge zu durchlaufen. Ungeachtet die Durchschneidung solcher Aeste zum Theil bei sehr warmer und trockener Witterung, mitten am Tage, bei gesteigerter Transpiration, ausgeführt wurde, trat doch in keinem einzigen Falle ein Welken des Laubes ein. Man sah den operirten Zweigen nichts von dem vollzogenen Eingriff an. Sie warfen auch ihr Laub im Herbst nicht früher als die anderen, und belaubten sich auch in diesem Frühjahr nicht schwächer. Gewisse Umwege musste ja das Wasser nach der Operation machen, um in die belaubten Zweige zu gelangen, da diese, wie wir aus dem anatomischen Theile wissen, ihren directen Anschluss basipetal haben; doch diese Hindernisse wurden hier ohne merklichen

1) Statical Essays, Vol. I, p. 132, Fig. 24, deutsche Uebers., p. 77 und Fig. 24, Taf. VI.

2) Physique des arbres., T. II, p. 104, Taf. XIV, Fig. 131, und p. 304, Taf. V, Fig. 39.

3) p. 523.

Nachtheil für die Pflanze überwunden. Da das Rothbuchenlaub sehr widerstandsfähig ist, ausserdem die Zahl der Zweige an den operirten Aesten in keinem der gegebenen Fälle eine bedeutende war, so standen relativ viel Wasserbahnen den Zweigen zur Verfügung und konnten somit, auch bei schlechterem Anschluss, den Transpirationsbedürfnissen unschwer genügen. — Ein prägnanter Fall aus der Reihe meiner Versuche hat die Vorlage zu dem umstehenden Bilde geliefert. Der Baum ist im Bilde annähernd 40 Mal verkleinert. Der rechts befindliche, dem Hauptstamm dicht über dem Boden entspringende Seitenzweig wurde an der mit einem Stern versehenen Stelle durchsägt. Die Verwachsungsstelle dieses Astes mit einem anderen liegt annähernd 1 m höher. Der Wasserstrom musste nach vollzogener Operation den Weg von den oberen Seitenzweigen aus in diesen mit ihm verwachsenen nehmen und in absteigender Richtung die demselben entspringenden Seitenzweige erreichen. Ein schwacher Ueberwallungswulst ist im Laufe des vorletzten und des letzten Jahres am unteren Cambiumrande des oberen Aststückes stellenweise hervorgetreten; das untere hat einen solchen nicht gebildet.

Um festzustellen, wie sich ein so durchsägter Ast in seinem weiteren Wachsthum verhält, habe ich nach über anderthalb Jahren, Mitte Winter, zwei solcher Aeste in Untersuchung genommen. Es war zu erwarten, dass sich ein so durchsägter Ast in seinem Wachsthum wie ein an seiner Basis geringelter verhalten würde. Das traf denn auch zu. An dem einen der beiden Aeste waren im ganzen Umfang nach der Durchsägung zwei schwache Jahresringe, in dem anderen nur an der einen Seite zwei solche Ringe gebildet worden. Bei diesem zweiten Aste hatte die Holzbildung an der nach innen gekehrten Seite, die keine Zweige trug, schon seit Jahren ausgesetzt, so dass sich die Jahresringe in dieser Richtung auskeilten. Dieses partielle Ausbleiben der Holzbildung war somit nicht Folge der Operation. Unter den Zweigen abwärts, also der früher eingehaltenen Richtung gemäss, war die Holzbildung wesentlich stärker. Ueber der durchschnittenen Stelle der Aeste nahm die Dicke des seit der Operation erzeugten Holzes plötzlich zu, um stellenweise in die aus der Wunde hervorragenden Wülste überzugehen. Dieses untere Holz hatte den Bau des Wundholzes, Zurücktreten der trachealen Elemente bei Bevorzugung



des Parenchyms. Die Bildung der Gefässe war andererseits in der ganzen seit der Operation erzeugten Holzmasse der durchsägten Aeste sehr zurückgegangen. Die Gefässe wurden weniger zahlreich und enger. Es erklärt sich das leicht aus dem Umstand, dass diese Aeste vor der Durchsägung die Bahnen auch für höher inserirte belaubte Zweige abgegeben hatten, jetzt in denselben aber nur so viel Bahnen nöthig waren, als die Versorgung der Seitenzweige, die sie selbst trugen, verlangte. Der Siebtheil hatte in seiner Bildung eine wesentliche Veränderung gegen die vorhergehenden Jahre nicht erfahren, was ja auch aus dem Umstande folgte, dass die Ernährung des Zweiges in absteigender Richtung kaum eine andere als zuvor zu werden brauchte. Die operirten Aeste verhielten sich in einem Worte ganz ähnlich einem über einer Ringwunde gelegenen Stammabschnitte, nur dass bei einem solchen die Neuanlagen von trachealen Bahnen nicht immer gleiche Reduction erfahren hatten. Die operirten Aeste zeigten sich von der Schnittfläche aufwärts eine Strecke weit abgestorben. Diese Strecke begann am Ueberwallungsrande des Cambiums und stieg nach der Mitte des Holzkörpers auf, wo sie schliesslich in dem einen Aste 4, in dem anderen 2,5 cm Höhe erreichte. In den todten Partieen des Holzkörpers selbst, sowie im Anschluss an dieselben zeigten sich die trachealen Elemente mit Schutzgummi mehr oder weniger vollständig abgeschlossen, Schutzgummi nebst braunen Inhaltsmassen auch in den übrigen Elementen vertheilt. Auch die Rinde war von dem Cambium aus nach aussen aufsteigend, wenn auch nicht bis zu bedeutenderer Höhe abgestorben. — Es wird sich zeigen, wie lange die anderen operirten Aeste am Leben zu erhalten sind und wie sie sich weiter verhalten. Eine andere Gefahr als diejenige des Zurücktrocknens und Absterbens von der Schnittfläche aus scheint für dieselben zunächst nicht gegeben. Es ist auch wahrscheinlich, dass dieses Absterben an der Basis des untersten belaubten Seitenzweiges innehalten werde. — Eine Umkehrung des Wasserstromes in den operirten Zweigen hat aber bis jetzt keine irgendwie sich bemerkbar machende Umkehrung in der Anlage und in der Anordnung der vom Cambium aus erzeugten Elemente, sowie deren Anschluss an die älteren Elemente zur Folge gehabt.

Die Umkehrung der Wasserleitung hat in einem Worte eine

erkennbare polare Umkehrung auch der aus dem Cambium neu erzeugten Elemente in diesen Versuchen nicht zur Folge gehabt.

Die Litteratur über Umkehr-Versuche mit ganzen Pflanzen und Pflanzenstecklingen greift sehr weit zurück, da solche Versuche schon im Alterthum vor Theophrast's Zeiten angestellt wurden. Ich verweise für diese Litteratur auf Vöchting's Organbildung im Pflanzenreiche [1]. Ich selbst möchte auf dieselbe hier nicht weiter eingehen, da sie zur Erörterung von Fragen über Polarität der Pflanzentheile anregt, die ausser dem Bereich meiner jetzigen Untersuchungen stehen [2]. Wohl aber hatte ich mich mit dem Verhalten umgekehrter Pflanzen zu befassen, soweit als durch diese Umkehrung die Leitungsvorgänge beeinflusst werden.

Bei solcher Fragestellung wurden bereits die Versuche an den verwachsenen Aesten angestellt, über die ich eben berichtet habe.

Von denselben Gesichtspunkten geleitet, führte ich dann auch eine grössere Zahl von Versuchen mit Weidenstecklingen (von Salix stipularis und Salix alba) aus, die ich zum Theil in aufrechter, zum Theil in umgekehrter Richtung austreiben liess. Alle diese Stecklinge wurden vor dem Austreiben, Ende Februar, im hiesigen botanischen Garten längs eines Baches in entsprechenden Abständen, 30 cm tief, in den Boden gesteckt. Die benutzten Aststücke hatten ziemlich übereinstimmend eine Länge von 1 m, eine Dicke hingegen zwischen 3 bis 5 cm. Die 3 cm starken waren 7-jährig, die 5 cm starken 12-jährig. Entsprechend der, besonders aus Vöchting's Arbeiten bekannten Tendenz, die neuen Sprosse möglichst nah dem organischen Scheitel, dem „Sprosspol", wie ihn jetzt Vöchting nennt [3], die neuen Wurzeln möglichst nah der organischen Basis, dem „Wurzelpol", zu entwickeln, suchten die umgekehrt eingesetzten Stecklinge die dem Boden nächsten Knospen in der Entwicklung möglichst zu fördern. Ich habe aber diese dem Boden nahen Sprosse in dem Maasse, als sie auftraten, entfernt und allen umgekehrten Steck-

1) Erster Theil, 1878, p. 198.

2) Vergl. auch Vöchting, Ueber Transplantation am Pflanzenkörper. Nachrichten von der kgl. Gesell. der Wiss. u. der Georg-August-Universität zu Göttingen, 1889, p. 389.

3) Ueber Transplantation am Pflanzenkörper, l. c. p. 400.

lingen nur die obersten, zur Entwicklung gelangten Sprosse gelassen. Ich erhielt auf diese Weise zwölf Stück mehr oder weniger kräftiger, umgekehrter Pflanzen, die in einer Entfernung von etwa 5 bis 25 cm von dem aufwärts gekehrten Wurzelpol Seitenzweige trugen. Die in natürlicher Lage aufrecht gesteckten Exemplare hatten, wie selbstverständlich, ihre kräftigsten Zweige nah dem oberen Ende aufzuweisen. Ein Theil der umgekehrten Pflanzen wurde Mitte Juli des ersten Jahres der Untersuchung geopfert, die anderen blieben zur weiteren Beobachtung stehen. Nur die Hälfte derselben trieb im nächsten Frühjahr aus, die anderen waren während des Winters abgestorben. Unter den ausgetriebenen befand sich ein Exemplar, das in seiner Zweigentwicklung keiner der normal gesteckten Pflanzen nachstand. Ich hatte diesem Exemplare nur drei Zweige gelassen, und zwar zwei in 7, einen in 11 cm Entfernung von dem aufwärts gekehrten Wurzelpol. Der in 11 cm Entfernung vom Wurzelpol entspringende Zweig erreichte bis Mitte Juli 2,5 m Länge und an seinem Grunde eine Dicke von 1,5 cm. Die beiden anderen in 7 cm Entfernung vom Wurzelpol entspringenden Zweige waren wesentlich schwächer, 0,8—1 m lang und entsprechend dünner. Mitte Juli zog ich alle drei umgekehrte Stecklinge aus dem Boden, um sie zu untersuchen. Ich will mich hier auf das Ergebniss der im zweiten Jahre vorgenommenen Untersuchung des kräftigsten der umgekehrten Stecklinge beschränken, da im Princip das Verhalten aller dieser Stecklinge das gleiche war. Zunächst musste ich constatiren, dass über den beiden oberen Zweigen, das heisst von diesen aus bis zum Wurzelpol, die Gewebe des Stecklings vollständig abgestorben waren. Von der Insertionsstelle der Zweige an abwärts, also nach dem Sprosspol zu, schränkte sich das abgestorbene Gewebe auf die inneren Theile des gesteckten Aststückes ein und liess sich dort mit allmählicher Abnahme noch eine Strecke weit verfolgen. Von den im Boden befindlichen Theilen des Stecklings waren 10 cm ganz abgestorben, weiter hinauf, in dem Maasse, als man sich von dem Sprosspol entfernte, wurde das todte Gewebe immer mehr auf die Mitte eingeschränkt. Die untersten Wurzeln des Stecklings entsprangen nur um wenige Centimeter unter der Bodenoberfläche, in welchem Verhalten sich auch die Tendenz kundgab, dieselben möglichst weit dem Sprosspol zu entrücken. Auch an dem kräftigsten der untersuchten umgekehrten Steck-

linge standen die Wurzeln an Stärke bedeutend den Wurzeln normal gesteckter Pflanzen nach. Dass im Gegensatz hierzu auch an umgekehrten Stecklingen die Entwicklung der Zweige so kräftig werden kann, wie wir das gesehen, hängt mit dem Umstande zusammen, dass diese alsbald nach der Entfaltung für ihre eigene Ernährung sorgen können. Hingegen blieben die Wurzeln auch nach der Entfaltung dieser Zweige schwach, solange nicht eine neue Verbindung zwischen ihnen und diesen Zweigen innerhalb der Bastzone hergestellt ist.

Die Anschlüsse, welche eine austreibende Knospe im Innern des gesteckten Astabschnittes findet, reichen tief in dessen Holzkörper hinein. Es verhält sich mit dem Anschluss dieser austreibenden, bis dahin ruhenden Knospen, ähnlich wie mit denjenigen gedehnter Kurztriebspuren, wie wir sie bei Pinus studirt, alljährlich werden im neuen Zuwachse auch neue Verbindungen für dieselben hergestellt. Diese Anschlüsse sind aber wurzelpolwärts gerichtet und daher in ihrer Functionirung an umgekehrt gesteckten Aststücken etwas beeinträchtigt. Vor allem ist die Verbindung des austreibenden Sprosses mit den neu angelegten Wurzeln bei einem solchen Steckling zunächst eine sehr mangelhafte. — Die an den aufrechten wie den umgekehrten Stecklingen angelegten Zweige sassen mit schildförmigen Holzmassen den gesteckten Aststücken auf. An der Insertionsstelle des kräftigsten, 1,5 cm dicken Zweiges, der dem wiederholt schon hervorgehobenen, umgekehrten Stecklinge entsprang, nahm die im Laufe zweier Vegetationsperioden gebildete Holzscheibe rasch an Dicke ab. Nach oben zu (wurzelpolwärts) hörte die Scheibe rasch auf, hingegen setzte sie sich nach abwärts (sprosspolwärts) in eine dünne Holzschicht fort, welche alsbald den ganzen Tragspross umgriff und an demselben abwärts die Ursprungsstellen der Wurzeln erreichte. Der erste Jahreszuwachs, der am Grunde des neuen Zweiges entstanden war, hatte nur sehr geringe Ausdehnung erreicht und hörte rasch nach allen Richtungen hin auf. Direct unter der Zweiginsertion zeigte der neue Holzzuwachs aber, nach Ablauf der zweiten Vegetationsperiode, ca. 2 mm Dicke, weiter abwärts schränkte er sich auf einige wenige Zellschichten ein. So hielt er sich dann auch weiter in seinem Abwärtsverlauf. Im Uebrigen schloss das neu erzeugte Holz in gewohnter Weise an das ältere an, und so auch wurden die vorhandenen Mark-

strahlen in normaler Weise vom Cambium aus fortgesetzt. Eine kräftigere Ernährung der Wurzeln wäre erst nach Ausbildung einer stärkeren Bastzone möglich geworden.

Aus dem Mitgetheilten geht hervor, dass an einem umgekehrt gesteckten Weidenaststücke die durch Thätigkeit des Cambiums erzeugten Elemente eine entgegengesetzte Orientirung in Hinblick auf ihre Leitungsthätigkeit erhalten, ohne dass dadurch ihr anatomischer Anschluss an die älteren Elemente irgendwie gestört werde.

Demnach erscheint aber die Umkehrung eines Weidenstecklings möglich. Dieselbe würde dauernd gelingen, wenn einerseits das Absterben und die Zersetzung der älteren Elemente sich rechtzeitig einhalten liesse, andererseits es zu einer hinreichend starken Ernährung der Wurzeln durch die neuen Basttheile, bevor die entwickelten Sprosse zu leiden anfangen, kommen könnte. Ich halte beides unter Umständen für möglich und habe daher auch keinen Grund, an den älteren Angaben über gelungene Umkehrungen von Pflanzen, vornehmlich die Angaben von Duhamel de Monceau [1]) und von Cotta [2]) zu zweifeln. Vöchting's Versuche mit Weidenstecklingen hätten auch günstigere Resultate ergeben können, wenn er dieselben länger fortgesetzt hätte, welche Möglichkeit Vöchting ja auch selbst schon ins Auge fasst [3]).

Ob mit einer solchen Umkehrung der Leitungsrichtung, am umgekehrten Steckling auch die ursprüngliche Polarität in den vom Cambium aus neu erzeugten Geweben schliesslich in eine entgegengesetzte übergeführt werden kann, müsste erst geprüft werden. Nach den von Kny [4]) für Ampelopsis und Hedera veröffentlichten Angaben lässt sich dies zunächst kaum erwarten. Denn Kny fand, dass umgekehrte Stecklinge der genannten Pflanzen, die, an dem Sprosspol bewurzelt, an dem Wurzelpol mit Sprossen versehen, fünf Jahre in die Dicke gewachsen waren und den Eindruck normaler Pflanzen machten, sich in Beziehung auf Callusbildung immer noch ihrer ur-

1) La Physique des arbres, 1758, Bd. II, p. 115 ff.

2) Naturbeobachtungen über die Bewegung und Function des Saftes in den Gewächsen, 1806, p. 23.

3) Ueber Organbildung im Pflanzenreiche, I. Theil, p. 215.

4) Umkehrversuche mit Ampelopsis quinquefolia und Hedera Helix, Ber. d. Deut. bot. Gesell., 1889, p. 201.

sprünglichen Polarität gemäss verhielten. Der ursprüngliche Wurzelpol zeigte sich an jedem Theilstücke dieser Stecklinge, wie an demjenigen normaler Pflanzen, in der Callusbildung entschieden bevorzugt.

In den von mir aufrecht gesteckten Weidenästen war, wie in umgekehrten, der obere Theil des Astes bis zur Ansatzstelle der obersten Seitenzweige abgestorben, ein Verhalten, das nach Th. Hartig[1]) alle Stecklinge zeigen. Weiter abwärts engte sich die todte Partie trichterförmig ein, und bald zeigte der Querschnitt nur noch gesundes Gewebe. Auch an dem basalen Ende der Stecklinge wurde Callus nicht gebildet, vielmehr sah man auch dort eine Strecke weit aufwärts abgestorbenes Gewebe. Die Peripherie hielt sich aber fast bis unten hin lebendig, so dass die Wurzelanlagen fast den unteren Querschnitt erreichten. Diese Wurzelanlagen, denen naturgemäss hier alle Nährstoffe der Rinde sofort zur Verfügung standen, waren entsprechend zahlreicher und kräftiger entwickelt als an umgekehrten Stecklingen. Was den neu erzeugten Zuwachs anbetrifft, so zeigte sich dieser hier nicht wesentlich stärker als an den umgekehrten Stecklingen. Auch hier ging die Holzbildung von der Ansatzstelle der neu erzeugten Zweige aus, um dann einerseits den gesteckten Ast zu umfassen, andererseits an demselben abwärts zu steigen. Das hatte ganz richtig schon Th. Hartig angegeben[2]). „An Weidenstecklingen, nachdem sie fingerlange Triebe gebildet haben, zeigt sich nach Abnahme der Bastschichten Cambialbildung nur in der nächsten Umgebung der treibenden Augen, von wo solche sich allmählich nach dem unteren Ende des Stecklings hin erweitert."

Die Jahresringbildung.

Im Anschluss an die Leitungsvorgänge des Wassers und der Assimilate in der Pflanze seien hier einige Bemerkungen angebracht, welche zur Beurtheilung der Ursachen der Jahresringbildung verwerthet werden können. Zu einem Eingehen

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1862, p. 82.

2) l. c. p. 84.

auf diesen Gegenstand veranlasste mich die Untersuchung von drei, im anatomischen Theile dieser Arbeit auf Seite 24 behandelten Lärchen, von denen die eine einen ganz unvermittelten Uebergang von weiten zu engen Tracheïden in den Jahresringen, die andere doppelte Jahresringbildung aufwies. In der That fiel es mir schwer, bei Betrachtung der Querschnitte aus der ersten dieser beiden Lärchen, mir vorzustellen, dass der jähe Uebergang von relativ dünnwandigen Frühtracheïden zu den sehr engen, fast doppelt so stark verdickten Spättracheïden sich durch Aenderung des Rindendrucks vollziehen sollte. War es doch kaum anzunehmen, dass dieser Druck sich sprungweise verändern könne. Die H. de Vries'sche [1]) Vorstellung, dass im Rindendruck die Ursache der Jahresringbildung liege, die auf die in Betracht kommenden Lärchen schwer anwendbar erschien, hat bekanntlich auch von anderer Seite her schon Widerspruch erfahren. Russow machte geltend [2]), dass, wenn Rindendruck den Unterschied von Früh- und Spätholz bedingen sollte, dieser Druck auch die Elemente der Rinde beeinflussen und dort eine Abnahme des radialen Durchmessers im Sommer veranlassen müsste. Andererseits zeigte Krabbe [3]), dass die Rindenspannung sich annähernd constant das ganze Jahr hindurch hält, und dass sie im Verhältniss zu den beim Dickenwachsthum sich geltend machenden Druckkräften sehr klein sei [4]). Auch Krabbe [5]) macht bereits auf den unmittelbaren Uebergang zum Spätholz bei der Linde aufmerksam und weist auf ähnliche Angaben von Sanio [6]) für Clematis Vitalba und Mahonia aquifolium hin. Es sei gar nicht einzusehen, meint Krabbe, woher

---

1) Ueber den Einfluss des Druckes auf die Ausbildung des Herbstholzes, Flora 1872, p. 241; Ueber den Einfluss des Rindendruckes auf den anatomischen Bau des Holzes, Flora 1875, p. 97; De l' influence de la pression du liber sur la structure des couches ligneuses annuelles, Archives Néerlandaises, T. XI, 1876; Ueber Wundholz, Flora 1876, p. 2.

2) Ueber die Entwicklung des Hoftüpfels, Sep.-Abdr. aus der Neuen Dörptschen Zeitung 1881, p. 41.

3) Ueber die Beziehungen der Rindenspannung zur Bildung der Jahresringe und zur Ablenkung der Markstrahlen, Sitzber. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1882, p. 1226.

4) Ebendas. p. 1129 und 1130.

5) Ebendas. p. 1126.

6) Bot. Ztg. 1863, p. 391.

so plötzlich die Druckkräfte kommen sollen, die eine derartige Streckung, resp. Abplattung der Zellen in radialer Richtung hervorrufen könnten. Zur Aufdeckung der Ursachen, welche der Jahresringbildung zu Grunde liegen, hält Krabbe weitere Untersuchungen für erforderlich. Russow [1]) hatte die Vermuthung ausgesprochen, dass in dem Inhalt der sich entwickelnden Zellen die Anwesenheit einer Wasser stark anziehenden Substanz in grösserer oder geringerer Menge und in Folge davon grösserer oder geringerer Turgor die Ursache der verschiedenen Ausbildung des Frühlings- und Herbstholzes sei. Wieler stellte nun directe Untersuchungen an, um diesen Turgor zu messen, und kam zu dem Ergebniss [2]), dass der hydrostatische Druck in den Jungholzzellen zur Zeit der Herbstholzbildung nicht geringer als zur Zeit der Frühlingsholzbildung sei. Wieler gelangt zu der Vorstellung, es werde die geringere Ausdehnung der Elemente des Herbstholzes bedingt von einer veränderten Dehnbarkeit der Membran [3]). Eine frühere Verholzung der Membranen, die von Sanio [4]) für die Kiefer höchst wahrscheinlich gemacht wird, müsse gleichfalls die Dehnbarkeit der Membran vermindern. Untersuchungen, die Wieler anstellte, um diese schnellere Verholzung zu constatiren, führten aber zu keinem bestimmten Ergebniss. Wieler bemüht sich andererseits, durch directe Versuche zu erweisen, dass eine qualitativ und quantitativ verschiedene Zufuhr von Nährstoffen den Unterschied in der Frühlings- und Sommerholzbildung bedinge. R. Hartig hatte bereits versucht, die Jahresringbildung auf Ernährungsvorgänge zurückzuführen, und zwar erklärt er das Herbstholz für das besser ernährte [5]). Wieler glaubt aus seinen Culturversuchen hingegen den Schluss ziehen zu können, dass schlechte Ernährung und mangelhafte Wasserzufuhr herbstholzähnliche Producte erzeuge [6]). Je ungünstiger die Ernährungsverhältnisse, je langsamer die Entfaltung assi-

---

1) l. c. p. 42.

2) Beiträge zur Kenntniss der Jahresringbildung und des Dickenwachsthums, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XVIII, p. 80.

3) l. c. p. 84.

4) Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IX, p. 67.

5) Unters. aus dem forstbot. Institut zu München, I, 1880, p. 148, und Das Holz der Nadelwaldbäume, 1885, p. 34 u. 103.

6) l. c. p. 112.

milirender Organe, um so mehr soll das Herbstholz vorherrschen. „Hierauf wirken nicht nur die Wasserzufuhr und die damit verknüpfte Zuleitung anorganischer Substanzen, sondern alle Factoren, welche die Erzeugung organischer Substanz in den Assimilationsorganen beeinflussen“ [1]). In Folge der reichlichen Ernährung im Frühjahr entsteht Frühlingsholz, „wenn aber gegen Schluss der Vegetationsperiode die Ausbildung der Samen beginnt, so wird die Hauptmasse der erzeugten organischen Substanz auf diese verwandt und so der Entfaltung neuer Organe entzogen. Daher treffen wir am Schlusse der Vegetationsperiode Herbstholz an.“ Es ist klar, dass Spätholzbildung auch dann in einem Baum sich einstellt, wenn er nicht fructificirt. Ebensowenig würde dieses Fructificiren den auch schon von anderer Seite betonten raschen Wechsel erklären, wie er, unter Umständen, zwischen weitlumigen dünnwandigen und englumigen dickwandigen Elementen möglich ist.

An dem von mir untersuchten alten, etwas abständig gewordenen Lärchenstamme, der den Ausgangspunkt dieser Betrachtung bildete, waren, daran sei zunächst erinnert, die 14 letzten Jahresringe nur äusserst schwach entwickelt. Sie bestanden aus sehr weiten Frühtracheïden, die fast sämmtlich doppelte Reihen von Hoftüpfeln trugen, und im Anschluss an diese, aus sehr schmalen Spättracheïden. Die Annahme, dass der Rindendruck so rasch bei diesem Baume alljährlich sich verändert haben sollte, ist nicht denkbar; aber auch die Behauptung, dass die Ernährungsbedingungen sich so plötzlich hätten ändern können, erscheint wenig wahrscheinlich. Vielmehr drängt sich die Vorstellung auf, dass in dieser verschiedenen Ausbildung der Elemente die Bedürfnisse der Wasserleitung einerseits, der mechanischen Festigkeit andererseits, ihren Ausdruck finden. Die doppelte Tüpfelung der Frühtracheïden weist deutlich darauf hin, worauf es bei der Ausbildung der weiteren Tracheïden vor allem ankam. Es galt zunächst, neue Bahnen mit directem Anschluss an die neu erzeugten transpirirenden Organe zu schaffen. Die innerhalb der Wasserbahnen herrschenden Umstände übten einen ganz bestimmten correlativen Reiz auf die in Entwicklung begriffenen Elemente

---

1) l. c. p. 122.
2) Ebendas.

aus und bestimmten die Art ihrer Entwicklung. Bei dem geringen Vorrath an Reservestoffen, über welche die abständige Lärche verfügte, musste es noch als besondere Art correlativer Beeinflussung gelten, dass bei derselben die wenigen Wasserbahnen, für welche das Material reichte, so bedeutende Weite erlangten. In welcher Weise der Einfluss der thätigen Wasserbahnen sich auf die in Entwicklung begriffenen Elemente äussert, mag dahingestellt bleiben. Man könnte denken, dass, solange die directen Wasserbahnen, welche nach den Verbrauchsorten führen, nicht hergestellt sind, Wasser an die Jungholzzellen leichter abgegeben werde. Möglich ist, dass der Wasserüberschuss des Frühjahrs zugleich auch schon als Reiz auf die Cambiumthätigkeit einwirkt und zur Bildung weitlumigerer Elemente anregt. Da aber auch in Holzgewächsen, die vor dem Laubausbruch entästet wurden, sowie auch in geringelten Stämmen unter der Ringelung sich Cambiumthätigkeit einstellt und, soweit dies dem Charakter des betreffenden Holzes entspricht, zunächst merklich weitere, dann engere Elemente liefert, so kann es sich nur um einen erblich fixirten Vorgang handeln, der aber quantitativ und qualitativ unter dem Einfluss der auf ihn wirkenden Reize steht. — Einen Unterschied in der Zusammensetzung der in Entwicklung begriffenen Jungholzzellen des Früh- und Spätholzes haben die Analysen von Wieler [1]) nicht ergeben, und nur der Wassergehalt der Jungholzzellen des Frühholzes war ein erheblich bedeutenderer. — Sobald für die directen Wasserbahnen gesorgt ist, hört die auf die Jungholzzellen ausgeübte Reizwirkung auf, und dominirend werden nunmehr die Einflüsse, welche sich als Bedürfniss nach mechanischer Festigung äussern. Diese letzte Reizursache mag von Anfang an vorhanden sein, wird aber zunächst durch das Bedürfniss nach Wasserbahnen ganz beherrscht. — In den inneren Jahresringen der in Betracht gezogenen Lärche war, bei weit ergiebigerer Holzbildung, der Uebergang von den weiteren Tracheïden zu den engen Spättracheïden ein vermittelter gewesen, erst unter den erschwerten Bedingungen der letzten Jahre bildete sich der schroffe Antagonismus zwischen den Anforderungen der Wasserzufuhr und der Festigkeit aus. Dass aber bei der Lärche der Gegensatz zwischen den weiteren

---

1) l. c. p. 127.

und engeren Elementen der Jahresringe oft ein so scharfer ist, darauf habe ich im anatomischen Theile bereits hingewiesen [1]).

Meine Vorstellung über die Ursachen der Jahresringbildung lässt sich auch leicht mit solchen Fällen in Einklang bringen, in welchen das Spätholz sich vom Frühholz in nichts anderem als in dem Mangel von Gefässen unterscheidet. „Bei mehreren Holzgewächsen", schreibt Russow [2]), „findet eine Verkürzung des radialen Durchmessers gar nicht statt, und die Abgrenzung der Jahresringe, die dann meist mit blossem Auge viel deutlicher sichtbar ist als unter dem Mikroskop, kommt nur zu Stande durch das zahlreiche Auftreten weitlichtiger Gefässe im Frühlingsholz; an den Stellen, wo keine Gefässe stehen, ist auch keine Grenze zwischen den aufeinander folgenden Jahreszuwachsen wahrzunehmen, so z. B. sehr auffallend bei Cytisus elongatus." — Von meinem Standpunkte aus lässt sich auch am besten die von H. v. Mohl [3]) und H. Fischer [4]) constatirte Thatsache begreifen, dass weite Jahresringe verhältnissmässig weniger Spätholz als enge besitzen. Das Bedürfniss nach Festigung wird ja thatsächlich weit weniger Schwankungen unterworfen sein als die Transpirationsbedürfnisse, die sich nach den Witterungsverhältnissen werden richten müssen. Innerhalb der Wurzeln, wo an die Leitungsbahnen des Wassers besonders hohe, an die Biegungsfestigkeit wesentlich geringere Ansprüche gestellt werden, dominirt die Bildung weiter dünnwandigerer Elemente. Im Schafte halten sich die beiden Bedürfnisse annähernd das Gleichgewicht, während in den Aesten entschieden dem mechanischen Bedürfniss der grösere Antheil zufällt. Das Holz vom Charakter des Spätholzes herrscht in den Aesten bei weitem vor [5]). Dass den Aesten auch das zur Erzeugung so grosser Holzstoffmassen nothwendige Material unmittelbar zur Verfügung steht, passt zu der ganzen übrigen Oeconomie der Pflanze, in welcher alle Vorgänge entsprechend

1) p. 24, dort auch die Litteratur.

2) l. c. p. 42.

3) Bot. Ztg., 1862, p. 228.

4) Flora, 1885, p. 305.

5) Vergl. Hermann Fischer, Zur vergleichenden Anatomie des Markstrahlgewebes und der jährlichen Zuwachszone im Holzkörper von Stamm, Wurzel und Aesten bei Pinus Abies L. Flora, 1885, p. 314, 317.

ineinander greifen. Zur Erzeugung stärkerer Verdickung ist naturgemäss auch entsprechend mehr Material nothwendig, und bleiben daher in den von Th. Hartig[1]) entnadelten Weymouthskiefern und gemeinen Kiefern die Spätholztracheïden dünnwandig, ungeachtet sie enger waren.

Auch R. Hartig[2]) nimmt an, dass die Weitlumigkeit der Elemente des Holzkörpers „ein Zeichen für die Leitungsfähigkeit des Holzes, oder vielleicht richtiger für das Bedürfniss des Baumes sei, schnell und leicht grosse Wassermengen zugeführt zu bekommen". Nur die Dickwandigkeit der Organe sei ein Beweis für bessere Ernährung derselben. Dass die dickwandigen engeren Elemente unter Umständen mehr Material verlangen wie die weitlumigen weiteren, ist nicht in Abrede zu stellen, doch kann ich aus dem zuvor entwickelten Grunde nicht anannehmen, dass die weitlumigeren Elemente unter normalen Verhältnissen deshalb dünnwandig bleiben, weil es an Nahrungsmaterial fehlt. Es gilt wohl vielmehr, sie möglichst rasch für die Bedürfnisse des Wasserstroms fertig zu stellen, und mag auch aus anderen Gründen eine grössere Dünnwandigkeit und damit verbundene grössere Durchlässigkeit ihrer Wände für Wasser erwünscht sein. Vor allem sind hier wiederum diejenigen Hölzer besonders instructiv, bei welchen das Frühholz sich nur durch seine zahlreichen Gefässe von dem Spätholz unterscheidet. Nur mit neuen Hilfshypothesen kann man auch diese Hölzer in Einklang mit der Vorstellung bringen, dass schlechtere Ernährung im Frühjahr, bessere Ernährung in späterer Jahreszeit die bedingende Ursache der verschieden starken Verdickung der Holzelemente sei. So trat auch Krabbe[3]) bereits der R. Hartig'schen Ernährungstheorie entgegen, wobei er freilich die ganzen Eigenthümlichkeiten des Jahresringbaues zunächst noch als gegebene Erscheinung hingenommen wissen wollte, für welche einstweilen die Erklärung ebenso fehlt wie für die verschiedenen Blattformen unserer Bäume.

---

1) Ueber die Bewegung des Saftes in den Holzpflanzen, Bot. Ztg., 1862, p. 74 und p. 71, Anm.

2) Ein Ringelungsversuch, Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 403.

3) Das gleitende Wachsthum bei der Gewebsbildung der Gefässpflanzen, 1886, p. 89.

Wir berührten bereits die Thatsache, dass auch an entnadelten Kiefern englumigere Elemente auf weitlumigere in den Jahresringen folgen, ungeachtet der Einfluss der transpirirenden Flächen in Wegfall kam. Wir hoben demgemäss auch schon hervor, dass es sich bei dieser Erscheinung um einen erblich fixirten Vorgang handeln müsse, in welchen die gegebenen Bedingungen nur nach Zahl und Maass bestimmend eingreifen. Besonders augenscheinlich trat das bei dem von Th. Hartig geringelten Kiefernzwiesel hervor, welchen R. Hartig und ich untersucht haben. Wie R. Hartig bereits ganz richtig angab [1]), waren die unter der Ringelungsstelle gebildeten Jahresringe, deren Material den Reservestoffen der Rinde entnommen werden musste, in allen ihren Elementen äusserst schwach verdickt, zeigten aber sämmtlich die Abwechslung von weiteren und engeren Tracheïden. „Damit ist wohl erwiesen", schliesst auch R. Hartig [2]), „dass wir nicht Unterschiede in der Ernährung, sondern erblich gewordene anatomische Eigenthümlichkeiten in der Ausbildung der radial verkürzten Tracheïden (Breitfasern) vor uns haben. Für die Annahme, dass die weitlumigen dünnwandigen Organe die besser ernährten seien, fehlt jede genügende Beweisführung."

Wie in diese erblich fixirten Entwicklungsvorgänge die gegebenen Bedürfnisse bestimmend eingreifen und wie sie den gegebenen Umständen sich anpassen, haben wir zuvor zu zeigen gesucht. Nicht minder bezeichnend für diese Anpassungsfähigkeit ist die Thatsache [3]), dass Nadelholzbäume, die im Drucke eines älteren Bestandes stehen, nur eine minimal entwickelte Frühholzschicht besitzen, weil sie wenig verdunsten, während frei gewachsene Nadelholzbäume hingegen weiches Holz haben, weil bei ihnen die Transpiration eine sehr grosse ist. So ästet man auch einen überreich beästeten Baum aus, um die Güte des Holzes dadurch zu steigern [4]), die Zahl und Weite der specifisch wasserleitenden Elemente wird dadurch herabgesetzt.

---

1) Ein Ringelungsversuch, Allg. Forst- und Jagd-Zeitung, 1889, p. 404.

2) l. c. p. 405.

3) Vergl. R. Hartig, l. c. p. 404, und Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung der Forstgewächse, p. 281.

4) R. Hartig, Lehrbuch, p. 281.

Wie weit die Anpassungsfähigkeit innerhalb der erblich fixirten Sphäre in der Ausbildung des Holzkörpers gehen kann, zeigte uns besonders auch der Zuwachs eines Robinia-Astes, der ein starkes Exemplar von Viscum trug. Der betreffende Ast war 2,3 cm dick und bis an das Viscum heran, das seiner Oberseite entsprang, abgestorben. Da der Ast auch weiter abwärts keine Seitenzweige mehr trug, so musste seine ganze Ernährung von dem Viscum aus besorgt werden, so wie andererseits auch er nur das Viscum zu versorgen hatte. Da zeigten sich denn, entsprechend dem immergrünen Zustande des Viscum, die Jahresringe in den letzten fünf Jahren kaum mehr markirt. Der Zuwachs des Astes war nur schwach, erfolgte vorwiegend an der das Viscum tragenden Oberseite und, was besonders hervorzuheben ist, bestand ganz vorwiegend nur aus Gefässen, während die dickwandigen Elemente kaum vertreten waren. Schlechte Ernährung des Astes mochte für das letzte Verhalten maassgebend gewesen sein, so zwar, dass die an die Wasserbahnen gestellten Ansprüche die Verwendung des gesammten disponiblen Zuwachsmaterials für Leitungszwecke bedingten.

Ich bemerkte schon, dass, wenn auch die stärkere Verdickung der Elemente des Spätholzes, wo sie gegeben, nicht als Beweis für dessen bessere Ernährung im Gegensatz zum Frühholz angesehen werden darf, eine solche Verdickung thatsächlich das Vorhandensein von Materialien verlangt, deren Mangel das Ausbleiben der Verdickung zur Folge haben muss. So kann bei entästeten Nadelhölzern die Verdickung der engeren Spättracheïden nicht erfolgen und so auch nicht deren Verdickung bei geringelten Stämmen unterhalb der Ringelung. In dieselbe Kategorie von Erscheinungen möchte ich aber auch bestimmte, neuerdings von Kny[1]) gemachte Angaben stellen. Kny lernte nämlich eine Anzahl von Holzgewächsen kennen, „wo die Elemente des Herbstholzes zuweilen deutlich dünnwandiger als die gleichnamigen Elemente der vorangegangenen und des darauf folgenden Frühlingsholzes sind". Bei Salix fragilis waren die „Herbstelemente" nur selten stärker verdickt als die „Frühlingselemente". Häufiger fand Kny die „Libri-

1) Ueber eine Abnormität in der Abgrenzung der Jahresringe, Stzber. der Gesell. naturf. Freunde, Berlin 1890, Sitzung vom 15. Juli.

formzellen" des Frühholzes stärker verdickt, im Extrem selbst um das Fünffache. Weniger prägnant zeigten sich diese Verhältnisse bei Salix cinerea, Carya amara und Pavia lutea, sehr ausgeprägt bei Pterocarya fraxinifolia. Dann beobachtete sie Kny auch bei verschiedenen Coniferen, wo sie aber ganz unbeständigen Charakter zeigten. Nicht nur die verschiedenen Jahresringe desselben Astes, sondern auch die verschiedenen Theile desselben Jahresringes verhalten sich dort oft ungleich. In allen Fällen war es nur die hyponastisch geförderte Unterseite der Coniferenzweige, welche das in Frage stehende, ungewohnte Verhalten bot. Kny folgert daraus, dass die Verschiedenheit in der Membranverdickung „keine erbliche Erscheinung" sein könne, und dass sie durch Verhältnisse beeinflusst wird, welche nicht nur von Jahr zu Jahr Schwankungen unterworfen sind, sondern auch innerhalb desselben Jahreszuwachses locale Aenderungen erfahren. Ich meinerseits bin geneigt, diese von Kny beobachteten Erscheinungen auf zeitweiligen Nahrungsmangel zurückzuführen, der aus diesem oder jenem Grunde, durch Ungunst der Witterung oder durch sonstigen Verbrauch der Reservestoffe, sich einstellte und unter Umständen auf den Bezirk einzelner bestimmter Complexe von Leitungsbahnen der Assimilate beschränkt bleiben konnte. Auch selbst wenn die Neigung zur stärkeren Verdickung der Spätholzelemente in den betreffenden Fällen erblich fixirt gewesen wäre, müsste sie bei Mangel an Material nothwendiger Weise unterbleiben.

Wie weit durch Veränderungen der gegebenen Bedingungen, namentlich der Transpirationsverhältnisse, die Ausbildung pflanzlicher Gewebe zu beeinflussen sei, ist von verschiedenen Seiten auch experimentell geprüft worden. Auf diese Versuche kann ich hier nicht eingehen und verweise wegen derselben auf die Zusammenstellung in Kohl's „Physiologischer Studie" über die Transpiration der Pflanzen [1]), welche die ältere Litteratur giebt, dann auf Kohl's eigene Experimente, sowie auf diejenigen von Wieler [2]). Wieler, der auch Robinia und Quercus in Wasser-

1) 1886, dritter Abschnitt, Einfluss der Transpiration der Pflanzen auf die Ausbildung der Gewebe und Gewebselemente, p. 91.

2) Ueber Anlage und Ausbildung von Libriformfasern in Abhängigkeit von äusseren Verhältnissen, Bot. Ztg., 1889, Sp. 517.

culturen erzog, kommt zu dem Ergebniss, dass mit steigender Menge des zugeführten Wassers eine Verminderung, mit abnehmender Zufuhr von Wasser eine Vermehrung der „Libriformfasern“ verbunden sei[1]). Was alles für Correlationserscheinungen im Spiele sein mögen, um ein solches Endergebniss herbeizuführen, sei hier nicht weiter erörtert.

Wenn eine doppelte Triebbildung innerhalb derselben Vegetationsperiode erfolgt, kehren zum zweiten Mal dieselben Bedingungen wieder, welche auf die Ausbildung neuer Wasserbahnen einen Einfluss übten. Dass die so oft früher schon beobachtete und beschriebene Erscheinung der doppelten Jahresringe auf doppelte Triebbildung zurückzuführen sei, stellte Kny durch directe Versuche fest[2]). Kny meint, es handle sich dabei um eine plötzliche Unterbrechung der Zufuhr assimilirter Substanzen[3]). Ich möchte hingegen annehmen, dass, nachdem durch entsprechende Wasserzufuhr eine neue Triebbildung angeregt wurde, sofort auch wieder das Bedürfniss nach Ausbildung neuer directer Bahnen sich einstellt und correlative Vorgänge innerhalb der in Entwicklung begriffenen Jungholzzellen auslöst. — Ein instructives Object für doppelte Trieb- und Jahresringbildung giebt die in unserem Garten erwachsene, ca. 20-jährige Lärche ab. Sie pflegt Ende Juli oder Anfang August den zweiten Trieb zu bilden, der fast um die Hälfte schwächer als derjenige des Frühjahrs ist. Soweit doppelte Jahresringbildung im Holzkörper vorliegt, findet der Uebergang von der bereits eingeleiteten Spätholzbildung zum neuen Frühholze im äusseren Viertheil des betreffenden Jahreszuwachses statt. Diese erneuerte Frühholzproduction stellt sich gleich nach begonnenem Austrieb der neuen Sprosse ein. Entsprechend der schwächern Ausbildung dieser Triebe bleibt sie auch hinter der Frühjahrsproduction an gleichen Elementen zurück. Es ist klar, dass, wenn der neue Trieb zu einer Zeit entsteht, in welcher die Spätholzbildung noch nicht eingeleitet worden ist, eine scharfe Abgrenzung des zweiten Zuwachses gegen den ersten auch

1) l. c. Sp. 549.

2) Ueber die Verdoppelung der Jahresringe, Verhandl. d. bot. Ver. d. Prov. Brandenburg, 1879, Sep.-Abdr. p. 6. In dieser Abhandlung auch die übrige Litteratur, zu welcher seitdem hinzukam: K. Wilhelm, Die Verdoppelung des Jahresringes.

3) Ebendas. Ber. d. Deut. Bot. Gesell., 1883, p. 216.

nicht vorhanden ist. Es setzt sich dann eben die Bildung von weiteren Frühtracheïden einfach fort. So erklären sich diejenigen Fälle, in welchen die Bildung eines „Johannistriebes" die Entstehung eines Doppeljahresringes nicht zur Folge hat. Ich vermisse beispielsweise Doppeljahresringe bei einem Exemplar von Quercus sessiliflora in unserem botanischen Garten, das alljährlich Johannistriebe an sämmtlichen Frühlingssprossen erzeugt. Die Eichen treiben ja überhaupt sehr spät im Jahre und haben die Bildung ihres Frühlingsholzes noch nicht vollendet, wenn sich der Johannistrieb einstellt. Auch Unger [1]) konnte für Quercus pedunculata nach doppelter Triebbildung keine Spur eines zweiten Holzringes erkennen. Kny [2]) fand bei Quercus pedunculata unter ähnlichen Umständen eine weniger scharfe Verdoppelung des Holzringes als in anderen Fällen. So liess sich auch bei unserer Lärche im Jahre 1888 eine Verdoppelung des Jahresringes nicht constatiren, ungeachtet ein zweiter Trieb gebildet worden war. Das späte Frühjahr hatte zunächst die Holzbildung aufgehalten, die sehr nasse Witterung eine sehr kräftige Entwicklung der ersten Triebe gefördert; diese verlangten nach entsprechend starker Ausbildung der Wasserbahnen, und die Spätholzbildung hatte noch nicht begonnen, als der Johannistrieb hervortrat.

Doch auch innerhalb der einzelnen Doppeljahresringe in den älteren Stammtheilen unserer Lärche war der Uebergang von der bereits eingeleiteten Spätholzbildung zur erneuerten Frühholzbildung nicht scharf. So ähnlich verhält es sich für die aufeinander folgenden Jahresbildungen solcher Bäume südlicher Breite, die keinen Stillstand der Vegetation durchmachen und nicht gleichzeitig ihre Triebe entfalten. Auf die Uebereinstimmung im Verhalten der Doppelringe mit dem Zuwachs solcher Bäume hatte bereits Unger [3]) hingewiesen. Freilich ist nicht gesagt, dass eine undeutliche Abgrenzung von Jahresringen stets durch die gleiche Ursache bedingt sei. Sie kann auch beruhen auf einem zu geringen Unterschiede zwischen den im Frühling und den im Sommer gebildeten Elementen. Russow

---

1) Ueber den Grund der Bildung der Jahreslagen dicotyler Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1847, Sp. 270.

2) l. c., Sep.-Abdr. p. 8.

3) Ueber den Grund der Bildung der Jahreslagen dicotyler Holzpflanzen, Bot. Ztg. 1847, Sp. 268.

weist an der schon citirten Stelle[1]) auf einige solche Beispiele bei Dicotylen hin, wo die Jahresgrenze dort, wo Gefässe fehlen, verwischt erscheint. Wir selbst fanden ein solches Verhalten auch bei Araucarien, die zwar zu einer bestimmten Zeit austreiben, die auch einen Ruhezustand in ihrem Holzzuwachs durchmachen, die trotzdem schlecht markirte Jahresringe besitzen, weil die Spättracheïden nur wenig schmäler als die Frühtracheïden sind.

Während in den älteren Stammtheilen unserer Lärche ein allmählicher Uebergang vom Spätholz des ersten Zuwachses zum Frühholz des folgenden innerhalb der Doppelringe zu sehen war, zeigte sich dieser Uebergang ganz unvermittelt in dem ersten Jahrestriebe selbst. Dieser erste im Frühjahr erzeugte Langtrieb, welcher sich weiterhin in den während des Sommers erzeugten schwächeren fortsetzte, hatte zwei scharf abgesetzte Zuwachszonen aufzuweisen. Dieses sein Verhalten erklärt sich aus dem Umstande, dass seine Holzbildung besonders weit vorgeschritten war, und dass der Einfluss des Austreibens seiner Terminalknospen sich besonders rasch und unmittelbar auf seine Holzbildung äussern musste. Der Sommertrieb hatte, wie selbstverständlich, nur einen einfachen Holzring aufzuweisen. Der im Frühjahrstrieb so scharf zur Geltung kommende Gegensatz muss sich mit der Entfernung von den Orten der Neubildung abschwächen. Es wird demgemäss auch bei Untersuchungen, welche die Bildung von Doppelringen in Zusammenhang mit doppelter Triebbildung nachweisen wollen, nicht gleichgiltig sein, an welchen Theil der Pflanze sie sich für diesen Nachweis wenden.

Ich habe im Laufe dieser Arbeit wiederholt schon darauf hingewiesen, dass mit Ende August die Holzbildung in unseren Bäumen aufhört. Ich konnte gleichzeitig hinzufügen, dass die Anlage und die Ausbildung von Bastelementen dann hingegen noch längere Zeit anhält. Das dürfte auch auf einer ganz bestimmten Reizwirkung beruhen, ausgelöst durch die Menge der sich mit Ende Sommer häufenden Reservestoffe. Diese gilt es jetzt vornehmlich unterzubringen, und so wird denn die ganze Thätigkeit des Cambiums für die Schaffung neuer Bahnen und neuer Behälter für diese Assimilate in Anspruch genommen.

---

1) l. c. p. 42.

Die Holzimprägnirung.

Meine in diesem Buche niedergelegten Untersuchungen streifen vielfach die Interessen technischer, eine entsprechende Verwerthung des Holzes anstrebender Gebiete. Die eingehende Kenntniss des Baues und der Functionen des Holzkörpers kann vielfach die richtigen Wege zu seiner Behandlung und Verwendung weisen. In diesem Sinne möchte ich hier kurz als in unmittelbarem Zusammenhang mit bestimmten Problemen, die ich behandelt, und bestimmten Versuchen, die ich angestellt habe, das Imprägnirungsverfahren des Holzes berühren.

Ueber die technische Seite der jetzt üblichen Verfahren beim Imprägniren des Holzes wird man sich am besten aus den Werken von Buresch [1]) und Heinzerling [2]) orientiren können.

Ich möchte diese jetzt üblichen Verfahren vom physiologisch-botanischen Standpunkte als diejenigen des Imprägnirens durch Imbibition, durch Ascension, durch Filtration und durch Injection bezeichnen.

Das Imbibitionsverfahren ist das einfachste. Es beruht darauf, dass die lufttrocknen und fertig bearbeiteten Hölzer in die Auflösung der anzuwendenden Substanz gelegt werden. Von allen zu diesem Zwecke benutzten Substanzen hat sich bis jetzt am besten, ja man könnte fast sagen allein, Sublimat bewährt. Das steht im Einklang mit den auch sonst über die antiseptischen Eigenschaften desselben gesammelten Erfahrungen. Es sind ursprünglich von Kyan, der diese Art der Imprägnirung aufbrachte, 2 % wässrige Lösungen in Anwendung gekommen,

---

1) Der Schutz des Holzes gegen Fäulniss und sonstiges Verderben, II. Aufl., Dresden 1880.

2) Die Conservirung des Holzes, Halle a. S. 1885.

die später reducirt wurden bis auf $^1/_2$ %. In Deutschland kommen gegenwärtig vorwiegend $^2/_3$ % Lösungen in Anwendung. Die Dauer der Tränkung richtet sich nach der Holzart und dem Durchmesser der Stücke und beansprucht 5 bis 15 Tage. Ein Kubikmeter trockner kieferner Eisenbahnschwellen nimmt ca. 1,2 kg Sublimat auf, luftfeuchte oder sehr harzige Nadelholzschwellen 0,9 kg, Eichenschwellen 1,0 kg [1]). Die imbibirten Schwellen werden 2 bis 3 Wochen an der Luft getrocknet. Dieselben haben sich als sehr widerstandsfähig erwiesen. Gegen die Verallgemeinerung des Verfahrens wird aber vornehmlich die grosse Giftigkeit des Stoffes und die Gefahren, die mit der Behandlung desselben verbunden sind, geltend gemacht.

Die Imprägnirung durch Ascension kam durch Boucherie [2]) im Jahre 1840 auf. Es entspricht dem Verfahren, welches wir anwandten, als wir an Stelle des Transpirationswassers andere Flüssigkeiten in der Pflanze aufsteigen liessen.

Aus unseren Versuchen geht hervor, dass bei diesem Verfahren die Imprägnirungsflüssigkeit nur die trachealen Bahnen in dem Holzkörper einschlägt, und dass sie sich von diesen aus erst in die Umgebung verbreitet. Die Kupfersulfatlösung, und derselben entsprechend verhalten sich auch andere Salzlösungen, diffundirt sehr gut durch die Membranen in die Umgebung, immerhin lässt sich nachweisen, dass sie bei bestimmten Laubhölzern auf diese Umgebung eingeschränkt bleibt, bei anderen diese Umgebung stärker durchtränkt und nur bei wenigen sich ganz gleichmässig über alle Theile des Holzkörpers ausbreitet. Bei den Nadelhölzern werden zur Leitung der Kupfersulfatlösung vornehmlich die weiteren Früh- und Folgetracheïden verwandt und führen demgemäss auch mehr von dem Imprägnirungstoff in ihrem Innern. Hingegen speichern die stärker verdickten Spättracheïden das Salz stärker auf und können demgemäss von demselben schliesslich mehr in ihren Wänden enthalten. Begierig ziehen die Harzmassen das Kupfersalz an sich und gehen mit denselben eine schön smaragdgrüne Verbindung ein. — Von den trachealen Bahnen aus werden stets

1) Buresch, l. c. p. 45.

2) Rapport sur un mémoire de M. le Docteur Boucherie relatif à la conservation des bois. Comptes rendus, 1840, T. XI, d. 894.

zuerst die nächst angrenzenden lebendigen Gewebe imprägnirt und speichern das Salz auf. Dabei wird der Inhalt der Holzparenchym- und Markstrahlzellen von der Salzlösung fixirt, gehärtet und entsprechend conservirt.

Von dem Maass, bis zu welchem die Imprägnirung eines Holzkörpers auf dem Wege der Ascension möglich ist, giebt rasch und bestimmt die Aufnahme von Eosin-Wasser Aufschluss. Dieser Farbstoff durchsetzt fast ebenso gut die Wände der trachealen Bahnen wie die Salzlösungen, und verbreitet sich annähernd ebenso vollkommen in die Umgebung. Daher die Schilderungen, die ich in dem Abschnitte über die Wege der Farbstofflösungen in den Pflanzen [1]) gegeben habe, sehr wohl hier verglichen und verwerthet werden könnten. Alle diejenigen Holzarten, welche bei Eosin-Wasser-Aufnahme diffuse Färbungen ergaben, lassen sich auch mit Salzlösungen, so Kupfersulfat, am vollständigsten imprägniren. Dass solche Hölzer auch für die anderen Arten des Imprägnirungsverfahrens besonders günstige Objecte liefern müssen, liegt auf der Hand.

Da bei der Imprägnirung durch Ascension die Flüssigkeit die von dem Transpirationsstrom benutzten Wege einschlägt, so folgt daraus auch, dass sie vorwiegend nur diejenigen Theile des Holzkörpers imprägnirt, welche das Transpirationswasser zuvor zu seinem Aufstieg brauchte. Nun sind es aber, wie wir früher gesehen haben, auch bei Splinthölzern vornehmlich nur die äusseren Jahresringe, welchen die Aufgabe der Wasserleitung zufällt. In diesen werden demgemäss auch die Imprägnationsstoffe vor allem aufsteigen. Doch pflegt sich von dieser äusseren Bahn aus das Kupfersulfat auch mehr oder weniger auf die inneren zu verbreiten, soweit als diese noch leitungsfähig sind, so dass annähernd der ganze Splint von der Flüssigkeit schliesslich durchtränkt werden kann. In den oberen Theilen höherer Bäume, so beispielsweise der von mir imprägnirten Rothbuche, blieb aber, selbst bei längerer Versuchsdauer, die Imprägnirungsflüssigkeit auf die äusseren Jahresringe beschränkt. Auch nimmt oft deutlich die Menge des aufgespeicherten Salzes mit der Höhe ab. Die vollständigste Imprägnirung erhielt ich bei der einen Kiefer, die ich den ganzen Winter hindurch in 5 % Kupfersulfatlösung stehen liess. Ich

1) p. 540 ff.

nehme an, dass dieses günstige Ergebniss auf Rechnung der häufigen Temperaturschwankungen zu setzen ist, welchen diese Kiefer unterworfen war. Es stellten sich ähnliche Erscheinungen in derselben ein, wie solche die starke Füllung der Gewebe unserer Bäume mit Wasser unter natürlichen Verhältnissen im Winter veranlassen. Jede Temperaturerniedrigung hatte eine Zusammenziehung der Luftblasen innerhalb der Tracheïden und eine entsprechende Nachfüllung der Bahnen von unten zur Folge, während bei jeder Temperaturerhöhung die sich vergrössernden Luftblasen die Flüssigkeit aus den trachealen Bahnen durch die Wände in die Umgebung pressen. Das findet freilich im Freien nur bei sehr herabgesetzter Transpiration und nassem Wetter bei Temperaturen über 0° statt.

Es stellte sich bei meinen Imprägnirungsversuchen mit Kupfersulfat heraus, dass dessen Aufnahme nicht minder gut erfolgt, wenn der Baum seiner Rinde am Schaft beraubt und sogar mit dem Beil vier- oder mehreckig abgeplattet, hierbei seiner äussersten Holzringe zum Theil beraubt wird [1]), als wenn derselbe unversehrt die Aufwärtsleitung besorgt. Bei Anwendung eines solchen Verfahrens wäre nur darauf zu achten, dass die freigelegten Flächen vor zu raschem Austrocknen geschützt bleiben.

Versuche mit starken, 3 bis 6 m langen Aesten von Coniferen, von Eiche, Ahorn, Rosskastanie, Linde und Rothbuche zeigten mir, dass partielle Entlaubung und Entfernung der Zweige die Imprägnirung entsprechend verlangsamt, unter Umständen deren Erfolg, innerhalb der sonst möglichen Grenzen, herabsetzt. Das Zurücklassen von Zweigen auf einer Astseite hat vielfach eine Bevorzugung der Imprägnirung dieser Seite, eventuell eine Einschränkung der Imprägnirung auf letztere, doch für gewöhnlich erst in grösserer Entfernung von der Aufnahmestelle der Lösung, zur Folge.

Mit völlig unbelaubten Aesten im Winter ist kaum eine volle Imprägnirung zu erreichen; durch Entrindung derselben werden die Aussichten für eine vollständige Imprägnirung wesentlich günstiger.

Eine Imprägnirung des Kernholzes ist beim Ascensionsverfahren unter allen Umständen ausgeschlossen. Das Kupfer-

---

1) Vergl. die Angaben p. 617 und 618.

sulfat dringt in das Kernholz von Taxus, der Eiche oder der Robinia von der unteren Schnittfläche aus auch nicht 1 cm hoch ein.

Bei der Robinie, die einen so schmalen Splint und innerhalb desselben nur relativ wenige leitende Gefässstränge besitzt, folgt die Kupfersulfatlösung auch nur diesen Strängen. Es zeigen sich in dem letzten, allenfalls auch dem vorletzten Jahresringe die weiten Gefässe nebst ihrer Umgebung und die engen Gefässstränge imprägnirt; in dem drittletzten Jahresringe allenfalls noch die engen Gefässstränge des Spätholzes und das anschliessende Gewebe. Meist war in meinen Versuchen die Kupfersulfatlösung sogar nur in den Gefässen des letzten Jahresringes und in den engen Gefässsträngen im Spätholze des vorletzten Jahresringes aufgestiegen. Von den genannten Gefässen hatte sich die Lösung über die Holzfasern und das lebendige Gewebe des letzten Jahresringes meist vollständig verbreitet, während der vorletzte Jahresring für gewöhnlich nur noch in seiner Spätholzzone gut imprägnirt erschien. Eine Bevorzugung der allernächsten Nähe der Leitungsbahnen in der Imprägnirung war stets kenntlich.

Wie schon Boucherie bekannt war und später von verschiedenen Seiten bestätigt wurde, gelingt die Imprägnirung von Baumstämmen auf dem eben geschilderten Wege durch Ascension nur solange als dieselben ganz frisch sind. Die Ursache dieser Erscheinung liegt zunächst, und vor allem, in dem Eindringen von Luft in die Leitungsbahnen. Eben dieses Eindringen von Luft veranlasst dann alsbald weitere Störungen, die sich in einem Verschluss der Bahnen, vornehmlich in der Nähe der Schnittflächen, kundgeben. Wir wissen ja auch aus den früher mitgetheilten Versuchen, dass Luft nicht über eine bestimmte Menge in eine Leitungsbahn eindringen darf, ohne deren Leitungsfähigkeit aufzuheben. Der von der eingedrungenen Luft ausgehende Reiz veranlasst dann vor allem die Ausbildung von Verschlüssen aus Harz, aus Schutzgummi, aus Thyllen, die ein weiteres Vordringen der Luft verhindern sollen. Hierauf stellt sich langsam ein Absterben der lebendigen Elemente des Stammes ein, das im Holzkörper mit Veränderungen des Inhalts dieser Elemente verbunden ist, die zur Bildung von Verkernungsproducten führen. Diese letzteren dringen in die Wasserbahnen ein und heben so ihrerseits auch die Leitungsfähigkeit derselben mehr oder weniger vollständig auf. Es sind das im Wesentlichen die nämlichen Vorgänge, die sich auch bei normalen

Verkernungen einstellen, wenn sie auch meist weniger ergiebig ausfallen. Der Wasserverlust hat endlich überall in den Leitungsbahnen auch einen Verschluss der Hoftüpfel zur Folge, wodurch zwar die Permeabilität dieser Tüpfel für Wasser nicht aufgehoben, wohl aber der Wasseraufstieg fast verhindert wird.

Es ist durch Erfahrung festgestellt worden, dass bei gefällten Stämmen die Fähigkeit, durch Ascension sich zu imprägniren, schon nach Ablauf eines Tages zu sinken beginnt.

Der ersten Störung der Aufnahmefähigkeit, welche auf dem Eindringen von Luft in die Wasserbahnen beruht, liesse sich theilweise vorbeugen, wodurch zugleich auch ein Hinausschieben der anderen störenden Erscheinungen erzielt wäre. Die Fällung eines Stammes bei anhaltend trocknem Wetter, wo eine starke negative Spannung in den Leitungsbahnen herrscht, muss eine sofortige Aufsaugung grosser Luftmassen veranlassen. Da es aber kaum möglich ist die Basis eines Baumes während des Fällens unter Wasser zu setzen, so würde es sich empfehlen, zur Imprägnierung durch Ascension bestimmte Stämme nicht nach anhaltender Dürre, vielmehr nach anhaltend nassem Wetter zu fällen. Da die Transpiration ausserdem des Nachts herabgesetzt ist und sich während dieser Zeit der negative Druck in den Wasserbahnen theilweise ausgleicht, so würden auch früh am Morgen gefällte Bäume während des Fällens weniger Luft als an späteren Tagesstunden einsaugen. Nach erfolgter Fällung müsste die Hirnfläche des Stammes nach Möglichkeit feucht gehalten und die Laubkrone vor zu starker Belichtung geschützt werden. Falls die Imprägnirung nicht sofort ausgeführt werden kann, empfiehlt es sich dann, bevor man sie vornimmt, von der Hirnfläche eine, wenn auch nur einige Centimeter starke Scheibe abzutragen, um auf diese Weise die mit Luft verstopften oder mit Verschlüssen versehenen Enden der Wasserbahnen nach Möglichkeit zu entfernen[1]). Eine Erneuerung der Schnittfläche kann übrigens auch bei rascher Vornahme der Imprägnirung nur von Vortheil sein, da sie die beim Fällen durch Inhaltstheile der lebendigen Zellen und durch feine Trümmer verstopften Bahnen freimacht. Diese Auffrischung müsste demgemäss mit einem möglichst scharfen, die Wasserbahnen scharf durchschneidenden, nicht zertrümmernden oder

1) Was denn auch in der Praxis schon vielfach geschah.

zerquetschenden Werkzeug vorgenommen werden. Bei Laubhölzern sind grössere Vorsichtsmaassregeln als bei Nadelhölzern nothwendig, da ja letztere nur geschlossene Tracheïden besitzen, welche der Luft den Eintritt so lange verwehren, als ihre Schliesshäute noch feucht und ihre Hofräume mit Wasser erfüllt sind. Da aber Luft die trocken gewordenen Schliesshäute leicht passirt, so ist auch hier, nach dem Fällen, der Querschnitt vor einem Austrocknen passend zu schützen, womöglich feucht zu erhalten.

Wie wir zuvor schon erinnerten, hebt die Entrindung der Stämme die Ascension der Flüssigkeit in den Wasserbahnen nicht auf. Ja, meinen an Kiefer, Ahorn und Rothbuche gewonnenen Erfahrungen nach, könnte ein solches Entrinden sogar gewisse Vortheile bringen. Denn die Transpiration auf der freigelegten Oberfläche bedingt ein Zuströmen von Flüssigkeit zu derselben. Durch die erfolgende Verdunstung wird die Lösung dort auch concentrirter, was dem Schutz dieser besonders exponirten Theile zu Gute kommen kann. Meine entrindeten Versuchsbäume, die in Kupfersulfatlösung standen, nahmen alsbald eine ausgeprägt grüne Färbung an ihrer Oberfläche an.

Für den grossen Betrieb hat diese ursprüngliche Imprägnirungsart durch Ascension kaum noch eine Bedeutung, wohl aber verdient sie im Kleinen, wenn es gilt, sich resistente Hölzer für Pfähle und dergleichen zu schaffen, noch volle Beachtung. Sie verlangt keinerlei Maschinen und ist überall leicht auszuführen. Vornehmlich macht sich bei diesem Verfahren, abgesehen von sonstigen Mängeln, von denen aber auch das nächstfolgende, im Grossen angewandte Verfahren nicht frei ist, der Nachtheil geltend, dass so viel Theile des Stammes mit imprägnirt werden, die weiterhin entfernt werden müssen und keinerlei Verwerthung zulassen. Die Aeste, die Zweige, ja zum Theil die Blätter werden nothwendiger Weise mit imprägnirt, da sie ja die Bahnen und Werkzeuge vorstellen, deren die Pflanze zur Vollziehung des Flüssigkeitsaufstiegs sich bedient.

Die Lage, in welcher sich der Stamm während der Imprägnirung durch Ascension befindet, ist an sich gleichgiltig, soweit nur dafür Sorge getragen wird, dass sein Laubwerk allseitig frei und gleichmässig dem Licht und der Luft ausgesetzt sei, dass die einzelnen Blätter sich somit weder in der Verdunstung noch in der Assimilationsarbeit, welche die Ver-

dunstung fördert, stören. Je stärker die Verdunstung, um so rascher erfolgt die Imprägnirung, um so vollkommener fällt sie aus.

Mit 1 bis 2% Lösungen von Zinkchlorid habe ich ganz die nämlichen Resultate wie mit Kupfersulfat erzielt. So sei beispielsweise angeführt, dass von zwei möglichst gleichen, 5 beziehungsweise 5,5 m langen, 6 cm dicken Aesten von Aesculus Hippocastanum, von denen am 26. September der eine in 2% Kupfersulfatlösung, der andere in 2%, durch Zusatz von etwas Salzsäure geklärte Zinkchloridlösung gesetzt wurde, bis zum 11. October, wo das Laub beider Aeste ganz welk und zum Theil trocken geworden, der 5 m lange 5 Liter Kupfersulfatlösung, der 5,5 m lange fast 5 Liter Zinkchloridlösung aufnahm. Die Imprägnirung des einen Astes war allem Anschein nach eben so vollständig wie die des anderen, wenn auch das Zinkchlorid seiner mangelnden Färbung wegen weniger sichtbar blieb. Im Allgemeinen wird eine Imprägnirung mit Zinkchlorid derjenigen mit Kupfersulfat wohl vorzuziehen sein; wie man denn auch bei der Imprägnirung von Bahnschwellen durch Injection unter Druck das Zinkchlorid jetzt bevorzugt, auch ganz abgesehen davon, dass die Imprägnirung mit Kupfersulfat nicht in eisernen Kesseln ausgeführt werden darf. Dass übrigens verschiedene Substanzen, von welchen einzelne auch für Imprägnirungen in Betracht kommen könnten, sich, unter sonst gleichen Umständen, verschieden rasch und nicht gleich vollkommen von den trachealen Bahnen aus auf die Umgebung verbreiten, wird man aus meinen früher (Seite 628—645) mitgetheilten Versuchen entnehmen können.

Schon im Jahre 1841 liess sich Boucherie ein von dem vorhergehenden abweichendes Verfahren patentiren, bei welchem die Flüssigkeit nicht mehr durch Vermittelung des natürlichen Saftsteigens, sondern durch hydrostatischen Druck in die Bäume eingeführt wurde. Dieses Verfahren steht jetzt noch in Frankreich stark im Gebrauch; ich habe dasselbe als Imprägnirung durch Vermittelung von Filtration bezeichnet. Dasselbe deckt sich mit demjenigen Verfahren, welches in der Pflanzenphysiologie angewandt wird, um die Filtrationswiderstände der Hölzer zu bestimmen. Auch bei dieser Imprägnirungsart sind es die Wasserbahnen der Pflanze, welche die Flüssigkeit aufnehmen, nur dass letztere in denselben nicht durch die-

jenigen Kräfte bewegt wird, welche auch den Saftaufstieg in der lebenden Pflanze bewirken, vielmehr unter Druck durchfliesst, durch die Schliesshäute der Tüpfel hindurchfiltrirt, ausserdem sich durch Imbibition, wie bei dem vorhergehenden Verfahren, von den Leitungsbahnen aus auf die Umgebung verbreitet. — Es wird im Allgemeinen bei dieser Imprägnirung so operirt, dass man die zu imprägnirenden Stammtheile, womöglich sammt Rinde, in etwas geneigter Lage an dem organisch unteren Hirnende mit dem Reservoir in Verbindung bringt, welches die Imprägnirungsflüssigkeit enthält. Die Verbindung muss so dicht sein, dass keine Flüssigkeit seitlich an der Zuflussstelle austreten kann, was nach verschiedenen, hier nicht näher zu behandelnden Methoden erreicht wird. Der angewandte Druck beträgt annähernd eine Atmosphäre, das heisst, der Behälter mit der Imprägnirungsflüssigkeit wird annähernd 10 m hoch über dem aufnehmenden Hirnende des Stammstückes angebracht. Vorwiegend kam bei diesem Verfahren bis jetzt 1 % Kupfersulfat in Anwendung. Jedes andere Metallsalz kann dasselbe vertreten. Ich stellte für je gleich starke Stammstücke bei der Rothbuche und der Rosskastanie durch directe Versuche fest, dass Kupfersulfatlösungen und Zinkchloridlösungen in genau der gleichen Zeit in gleichen Mengen filtriren.

Für das Gelingen dieses Imprägnirens durch Filtration gelten im Wesentlichen ganz die nämlichen Bedingungen wie für dasjenige durch Ascension, nur ist dieses Verfahren nicht, wie dasjenige durch Ascension, an eine bestimmte Jahreszeit gebunden. Vor allem gilt es auch hier, mit möglichst frischem Holz zu operiren und dafür auch zu sorgen, dass die Bahnen nicht in Folge sich bald einstellender vitaler Vorgänge verstopft werden. Da diese vitalen Vorgänge durch in die Leitungsbahnen eingedrungene Luft angeregt werden, so gilt es ebenfalls, das Eindringen von Luft nach Möglichkeit zu verhindern. An sich würde die Verstopfung durch Luft hier weniger Schaden bringen, da dieselbe durch die unter Druck eintretende Flüssigkeit annähernd verdrängt werden kann. Das Auffrischen der Schnittfläche mit scharfem Werkzeug vor Beginn der Imprägnirung wird von Nutzen sein, so auch das Entfernen grösserer Theile von dem Hirnende, wenn das Stammstück einige Zeit gelegen. Diese letzte Operation wird bereits in der Praxis geübt; nothwendig erscheint aber

gleichzeitig auch das Kürzen des Stammes an dem entgegengesetzten Hirnende, damit auch dort die Bahnen geöffnet werden und den Austritt von Luft und deren Ersatz durch die Imprägnirungsflüssigkeit, endlich den Austritt dieser selbst nicht verhindern. Um die Widerstände zu überwinden, welche von Verschlüssen aus Harz, Schutzgummi oder Thyllen herrühren, reicht, wie Versuche lehren, der Druck einer 10 m hohen Flüssigkeitssäule nicht aus.

Da diese Art der Imprägnirung nicht an eine bestimmte Jahreszeit geknüpft ist, so mag es unter Umständen frei stehen, die passendste Jahreszeit auszuwählen. Vom theoretischen Standpunkte aus muss diejenige Zeit als die geeignetste erscheinen, in welcher die vitalen Vorgänge, welche die Verschlüsse der Bahnen besorgen, stille stehen oder sehr verlangsamt sind, somit die Winterzeit. Weiter ist dann zu erwägen, dass Frostwetter die Operation ausschliesst, weil alsdann die Wasserbahnen durch Eis verstopft sind. Bei anhaltendem Frostwetter, zugleich klarem Himmel werden allmählich die Wasserbahnen sehr luftreich, weil durch Verdunstung, wie sie ja auch zur Winterszeit, vornehmlich an den jüngeren Zweigen stattfindet, dauernd Wasser an die Atmosphäre abgegeben wird. Stämme, die zu einer solchen Zeit gefroren gefällt werden, müssen somit beim Aufthauen grössere Mengen von Luft in sich aufnehmen. Dem könnte nur durch Einsenken ihres Hirnendes in Wasser vorgebeugt werden, was wohl selten möglich sein dürfte. Bei anhaltend nassem Wetter und Temperaturen wenig über Null werden hingegen zur Winterszeit, bei sehr herabgesetzter Transpiration, die Bäume äusserst wasserreich und somit für das Gelingen einer möglichst vollständigen Imprägnirung geeigneter. Kommt das Verfahren während der Vegetationszeit zur Anwendung, so werden die Bedingungen für dasselbe bei anhaltend nassem, kühlem Wetter günstiger als bei heissem und trocknem sein. — Soweit die Möglichkeit vorliegt, die Jahreszeit frei zu wählen, wird auch zu berücksichtigen sein, dass der Inhalt der Stammtheile an Reservestoffen, die eines Schutzes durch Imprägnirung bedürfen, zu verschiedenen Jahreszeiten ein verschiedener ist. So strotzen alle lebendigen Elemente im Holzkörper unserer Nadelhölzer im Spätherbst und zu Wintersanfang von Stärke. Mitte Winter hat aber im Holzkörper der meisten Coniferen die Stärke einem fetten Oel Platz

gemacht. Eine vollkommene Entstärkung erfährt im Winter unsere gemeine Kiefer, während Picea excelsa (Fichte), Larix europaea, Juniperus communis, Taxus baccata, Thuja occidentalis [1]) nicht die gesammte Stärke ihres Holzkörpers in Oel verwandeln. Wie die Kiefer verhalten sich, soweit die Untersuchung reicht, die meisten weichholzigen Laubbäume: Tilia, Betula, wohl auch Alnus und Populus, während andere, meist hartholzige Bäume: Quercus Robur, Corylus Avellana, Ulmus campestris, Platanus occidentalis, Celtis occidentalis, Morus alba, Salix babylonica, Ailanthus glandulosa, Acer dasycarpum, Acer platanoides, Prunus avium, Pirus Achras, Crataegus monogyna, Sorbus Aria, Fraxinus excelsior, Syringa vulgaris und wohl die meisten anderen Laubhölzer, ihre Stärke während des Winters im Holzkörper behalten oder sie nur in sehr geringen Mengen in Oel verwandeln [2]). Zu den Oelbäumen scheint auch die hartholzige Robinie zu gehören. Weitere Untersuchungen werden hier noch die definitiven Grenzen im Einzelnen zu ziehen haben. Es musste hervorgehoben werden, dass die Umwandlung der Stärke in Oel bei den „Stärkebäumen" im Holzkörper unterbleibt, da, wie wir früher gesehen haben, diese Umwandlung innerhalb der Rinde bei allen Hölzern im Winter vor sich geht. — Im Frühjahr wird ein Theil der Reservestoffe des Holzkörpers für den Austrieb verbraucht, doch ist dies in dickeren Stämmen nur ein Bruchtheil der vorhandenen. Innerhalb der Fettbäume wird zugleich wieder das fette Oel zu Stärke regenerirt. — Besonders arm an Reservestoffen sind die Bäume nach einem Samenjahr, wo der bei weitem grösste Theil der im Stamme abgelagerten Kohlehydrate und eiweissartigen Körper in die Samen einwandert [3]). — Auf diese Verschiedenheit in dem Gehalt an Reservestoffen zu verschiedenen Jahreszeiten sollte hier nur hingewiesen werden, während es Sache der praktischen Erfahrung allein ist, zu entscheiden, ob ein Mehr oder Weniger an Reservestoffen im Holzkörper, deren Beschaffenheit, ob vorwiegend Stärke, Oel, Zucker und dergleichen, für die Fragen der

---

1) Alfred Fischer, Beiträge zur Physiologie der Holzgewächse, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXII, p. 93.

2) Ebendas. p. 93.

3) R. Hartig, Ueber die Bedeutung der Reservestoffe für den Baum, Bot. Ztg. 1888, Sp. 837.

Holzconservirung in Betracht kommen. — Auch die Wasserbahnen selbst zeigen zu verschiedenen Jahreszeiten einen etwas abweichenden Inhalt an organischen Stoffen, welche aber, wenigstens bei der Ascensions- und Filtrationsimprägnirung, entfernt werden. — Angeschlossen sei hier, dass es auch für Stämme aus der Kategorie der Oelbäume, welche anderen technischen Zwecken dienen sollen, in Betracht kommen könnte, dass dieselben, im Winter gefällt, ihr Oel grössten Theils durch Stärke wieder ersetzen würden, wenn das Absterben in einem wärmeren Raume oder erst mit Eintritt der wärmeren Jahreszeit erfolgte. Ob für Hölzer, die ohne Imprägnirung technisch verwerthet werden sollen, die Fällzeit gleichgiltig sei, darüber habe ich hier nicht zu entscheiden; man neigt jetzt vielfach zu der Ansicht, dass dies in der That der Fall sei [1]). Sicher ist aber unter allen Umständen, dass nicht allein der Wassergehalt, sondern auch Quantität und Qualität der Reservestoffe zu verschiedenen Jahreszeiten im Stammholze Verschiedenheiten zeigen.

Ungeachtet der Filtrationsstrom in der Pflanze die nämlichen Bahnen wie der Ascensionsstrom einschlägt, ist doch durch das Filtrationsverfahren eine vollkommnere Imprägnirung zu erreichen, weil mehr Bahnen von dem Filtrationsstrom benutzt werden. Während der Ascensionsstrom nämlich nur denjenigen Bahnen folgt, welche mehr oder weniger direct nach den transpirirenden Organen führen, tritt der Filtrationsstrom in alle Bahnen ein, die er noch unverschlossen findet. Es werden somit im Wesentlichen die gesammten Bahnen des Splintes bei den Kernhölzern, der gesammte Holzkörper in den Splintbäumen infiltrirt. Der angewandte Druck befördert andererseits die Imbibition von den Leitungsbahnen aus in die Umgebung. Im Vortheil gegen die Imprägnirung durch Ascension ist diejenige durch Filtration auch darin noch, dass bei dem vorhandenen Druck die Luft durch die Flüssigkeit grösstentheils verdrängt werden kann und auch die Schliesshäute geschlossener Hoftüpfel ohne Schwierigkeit durchsetzt werden, während beide den Ascensionsstrom aufhalten. Nach dem Filtrationsverfahren wird somit, die günstigsten Bedingungen vorausgesetzt, das Holz der Nadelbäume im Splint annähernd vollständig imprägnirt.

---

1) Vergl. z. B. Walther Lange, Das Holz als Baumaterial. 1879, p. 77.

Die Lösung folgt, im Gegensatz zu der Imprägnirung durch Ascension, nicht allein den weiteren, sondern auch den engeren Tracheïden, ja imprägnirt letztere auch wohl noch in den innersten im Uebergang zum Kern begriffenen Theilen des Splintes. Die Bevorzugung der engen Spättracheïden dort erklärt sich aus dem Umstande, dass deren Hoftüpfel offen bleiben und deren Verkernung weit langsamer fortschreitet. Bei den Laubhölzern wird, da ja in denselben die Leitungsbahnen zwischen anderen Geweben vertheilt sind, die Imprägnirung aber durch Imbibition von den Bahnen aus auf die Umgebung sich verbreitet, diese Imprägnirung um so gleichmässiger ausfallen, je zahlreicher die in dem Holzgewebe vertheilten trachealen Elemente sind. Hölzer mit englumigeren, zahlreichen Gefässen werden sich unter sonst gleichen Umständen gleichmässiger imprägniren als solche mit wenig zahlreichen weiten. Die Nachtheile wenig zahlreicher, weiter Wasserbahnen könnten freilich durch eine leichtere Durchlässigkeit der Wände mehr oder weniger ausgeglichen werden. — Ein Bild für die Vollständigkeit, in welcher eine Imprägnirung hier möglich, lässt sich ganz wie bei dem vorhergehenden Verfahren durch Eosin-Wasser leicht erreichen, das man unter entsprechendem Druck in die betreffenden Stammtheile einpresst.

Die Richtung, in welcher die Imprägnirung durch Filtration vorgenommen wird, ist für kürzere Holztheile sicher gleichgiltig. Die Wasserbahnen leiten ebenso gut in der einen wie in der anderen Richtung und setzen demgemäss auch dem Filtrationsvorgang nach verschiedenen Richtungen hin einen verschiedenen Widerstand nicht entgegen. Hingegen dürfen längere Stammstücke, vornehmlich die ganzen Schäfte jüngerer Stämme, wie sie etwa für Telegraphenstangen in Betracht kommen, nur in der Richtung, welcher der Wasserstrom unter natürlichen Verhältnissen folgt, infiltrirt werden. Denn die Anschlüsse für die Wasserbahnen liegen in der Richtung von der Wurzel zum Scheitel; die Flüssigkeit müsste somit vielfach rückläufige Bewegung in den Bahnen machen, um von der entgegengesetzten Richtung aus alle Anschlüsse zu erreichen. Sie würde ausserdem, wegen beschränkter radialer Anschlüsse zwischen auf einander folgenden Jahresringen, vor allem denjenigen Jahresringen folgen, welche von dem oberen bis zum unteren Querschnitt ununterbrochen fortlaufen, welche somit auch am

oberen Hirnende noch vertreten sind. Eine vollständige Imprägnirung aller offen stehenden Bahnen liesse sich bei dem vorhandenen Druck schliesslich auch unter den gedachten Verhältnissen auf umgekehrtem Wege annähernd erreichen, würde aber schliesslich doch weniger vortheilhafte Ergebnisse liefern.

Wie aus dem zuvor Gesagten schon folgt, ist durch Vermittlung der Filtration eine Imprägnirung des Kernholzes nicht zu erreichen. Hierzu reicht, wie wir später sehen werden, auch ein recht bedeutender Druck nicht aus. Bei allen den ziemlich zahlreichen Versuchen, die ich selbst mit Kupfersulfat anstellte, blieb der Kern ganz frei von diesem Salze. Ebenso ist es bei einer kiefernen Eisenbahnschwelle, die nach dem Boucherie'schen Verfahren in der kgl. bayrischen Imprägnirungsanstalt Schwandorf präparirt worden ist und die ich durch gütige Vermittlung des Herrn Präsidenten der kgl. Eisenbahndirection v. Guérard in Frankfurt a. M. von der Schwandorfer Imprägnirungsanstalt zugesandt erhielt. Bei den nach dem Boucherie'schen Verfahren behandelten Eisenbahnschwellen, soweit diese, wie die mir vorliegende, aus halbirten Abschnitten imprägnirter Stämme dargestellt werden, kommt somit der nicht imprägnirte Kern mit den äusseren Agentien in Berührung. Dieser Kern ist zwar durch seine antiseptisch wirksamen Kernstoffe bis zu einem gewissen Grade geschützt, doch nicht hinlänglich, um lange Zeit den Angriffen niederer Organismen zu widerstehen. Es würde sich unter allen Umständen empfehlen, so präparirte Schwellen, soweit ihr Kern irgendwo die Peripherie erreicht, noch durch Einlegen in relativ concentrirte Imprägnirungsflüssigkeit zu imbibiren und so auch den nicht imprägnirten Theil durch Aufnahme des Salzes zu schützen. Diese nachträgliche Imprägnirung durch Imbibition würde auch an den frei gelegten Splinttheilen des Holzkörpers die Imprägnirung durch Filtration in erwünschter Weise vervollständigen. Wir haben ja gesehen, dass diese Imprägnirung von den Leitungsbahnen ausgeht und sich mehr oder weniger vollständig nur auf deren Umgebung ausbreitet, so dass immerhin auch im Splint einzelne nicht imprägnirte Stellen zurückbleiben und dann in Contact mit der Umgebung treten könnten. Ganz vorzüglich gelingt, wie mir meine Versuche zeigten, nach dem Infiltrationsverfahren die Imprägnirung des mit sehr zahlreichen Gefässen versehenen Rothbuchenholzes, das sich ja auch bei Aufnahme von Eosin-Wasser

ziemlich gleichmässig seiner ganzen Masse nach färbt, während bei der Eiche die in grösserer Entfernung von den weiten Gefässen und engeren Gefässsträngen liegenden Fasertracheïden sich nur noch unvollständig imprägniren lassen. Bei der Eiche wäre eine Nachhilfe von aussen durch Imbibition also keinesfalls überflüssig, selbst auch dann nicht, wenn nur der Splint derselben die Oberfläche erreicht. Aber selbst auch bei der Buche könnten sich, unter den störenden Einflüssen, die in jede im Grossen vollzogene Operation, wie zu späte Imprägnirung u. s. w. eingreifen, Stellen vorfinden, welche eines Schutzes von aussen bedürfen, weil durch Verstopfung der Bahnen die Imprägnirungsflüssigkeit von denselben abgehalten wurde. — Im Allgemeinen lässt sich wohl aber behaupten, dass Splinthölzer für die Imprägnirung durch Vermittlung der Filtration geeigneter sind, und dass, wo Kernhölzer zur Anwendung kommen, dieselben einerseits in dieser Weise nur so lange imprägnirt werden sollten, als ihnen der Kern noch fehlt, andererseits bei ihrer Anwendung vermieden werden müsste, den Kern frei zu legen. In Deutschland kommt das Infiltrationsverfahren vornehmlich nur noch zur Imprägnirung von Telegraphenstangen, bei welchem der ganze, ungetheilte Hauptstamm benutzt wird, zur Verwendung. Dabei gelangt ja auch bei Kernhölzern nur der imprägnirungsfähige Splint nach aussen. Bei unseren einen Kern bildenden Nadelhölzern wäre aber bei der Wahl des Materials darauf zu achten, dass diese Kernbildung je nach Standort und Boden sehr verschieden rasch sich einstellt, und dass relativ sehr starke Kiefern unter Umständen bis zum Mark kernfrei und somit auch bis zum Mark imprägnirungsfähig bleiben können.

Von den Verschlüssen, welche sich in den Wasserbahnen der Pflanze beim Austrocknen einstellen, ist der eine von Lebensvorgängen unabhängig. Es ist das der Verschluss der Hoftüpfel. Die Schliesshäute der Hoftüpfel werden, wie wir früher gesehen haben, in der einen oder der anderen Richtung aspirirt, wobei ihr mittlerer, verdickter Theil, der Torus, die Mündung des Tüpfels verstopft. Diesen Verschluss zu verhindern, ist nicht möglich. Es zeigte sich, dass auch beim künstlichen Tödten des Holzes durch trockene Hitze die Verschlüsse zu Stande kommen. Nicht minder stellen sie sich in gekochten Holzstücken ein, wenn dieselben später austrocknen. Nur in Alcohol

aufbewahrtes Holz konnte, bei Verdunstung des Alcohols, offene Hoftüpfel behalten. Wir fanden übrigens, dass geschlossene Hoftüpfel kein sehr bedeutendes Hinderniss der Filtration entgegensetzen, auch selbst da nicht, wo das Holz, wie bei Coniferen, nur aus Tracheïden besteht, die mit derartigen Verschlüssen versehen sind. — Die anderen Verschlüsse, so durch Harzbildung, Schutzgummi, Thyllen, sind an Lebensvorgänge gebunden, und lag daher die Annahme nahe, dass entsprechend rasch getödtetes Holz, in welchem diese Verschlüsse sich nicht ausbilden können, dauernd seine ursprüngliche Filtrationsfähigkeit behalten würde. Das ist nun in der That der Fall. Die eine Stunde lang, oft auch kürzer, in Wasser von 80 bis 90 ° C gebrühten Pflanzentheile, mit denen ich meine Wassersteigversuche anstellte, waren frei von Verschlüssen, und ich konnte in denselben, nachdem ich sie zuvor mit Wasser imbibirt und injicirt hatte, auch den Wasserstrom wie in der lebendigen Pflanze aufsteigen lassen. Denselben Erfolg hatten meine Versuche mit 0,5 bis 1 m langen, durchschnittlich etwa 10 cm dicken Schaft- und Aststücken verschiedener Laubhölzer, die ich im Wärmeschrank durch trockne Hitze tödtete. Dieselben wurden getödtet, ohne Schutzgummi- oder Thyllen-Verschlüsse zu bilden, und behielten ihre Filtrationsfähigkeit, während entsprechende, die Fortsetzung der ersteren bildende Holzstücke, die ich an der Luft liegend langsam absterben liess, ihre Filtrationsfähigkeit mehr oder weniger vollständig einbüssten. Die Technik operirt bereits mit dem Dämpfen und Dörren von Holztheilen zum Zwecke der Conservirung, und zwar werden diese Operationen entweder für sich oder in Verbindung mit nachträglicher Imprägnirung durch Injection in Anwendung gebracht. Möglich wäre es somit auch, Hölzer durch ein solches Verfahren für nachträgliche Imprägnirung vermittelst Infiltration vorzubereiten. Das hätte den Vortheil, dass in solcher Weise getödtete Hölzer vor der Imprägnirung bearbeitet und die überflüssige Imprägnirung der zu beseitigenden Theile vermieden werden könnte. Von allen Arten der möglichen Abtödtung würde wohl diejenige durch höhere Temperatur die einfachste sein. Um das Reissen des Holzes zu verhindern, wäre diese bei der niedrigst möglichen Temperatur im dampfgesättigten Raum auszuführen. Eine Temperatur von ca 60 ° C reicht aus, um die lebenden Elemente des Pflanzenkörpers zu tödten, doch müsste deren

Einwirkung lange genug dauern, um bis in das Innere des Holzkörpers vorzudringen. Bei Laubhölzern bliebe die Anwendung auch wesentlich höherer Temperaturgrade unter den gleichen Bedingungen ohne erheblichen Nachtheil, während solche bei harzreicheren Coniferen unter allen Umständen zu vermeiden wäre, weil alsdann die Harzmassen in die Umgebung diffundiren, in die Tracheïden gelangen, in die Hofräume der Tüpfel eingesogen werden und die Wasserbahnen der Pflanzen unwegsam machen [1]). Sehr filtrationsfähig erwies sich in unseren Versuchen Coniferenholz, das ich im frischen Zustande durch entsprechend langes Verweilen in Wasser von ca. 80° oder durch anhaltendes Dämpfen getödtet hatte und hierauf an der Luft trocken werden liess. Auch in diesem Holze schlossen sich während des Trocknens die Hoftüpfel, doch diese Verschlüsse verlangsamen zwar, heben aber die Filtrationsfähigkeit nicht auf. Durch die trocknen Schliesshäute, selbst wenn dieselben aspirirt sind, geht, was besonders wichtig, auch die Luft unschwer hindurch und ist somit leichter als im frischen Holze aus den Leitungsbahnen zu vertreiben. Ebenso diffundirt gut aus den gefüllten Leitungsbahnen die Imprägnirungsflüssigkeit durch die trocknen Zellhäute in die Umgebung. Eine Ascension der Flüssigkeit in solchen trocknen und entleerten Bahnen ist hingegen, wie wir bereits früher schon entwickelt haben, ausgeschlossen.

Ich habe hier eben theoretisch die Möglichkeit erörtert, wie Holz durch entsprechende Tödtung filtrationsfähig zu erhalten wäre; dass in der Praxis die Anwendung eines solchen Verfahrens auf grosse Hindernisse stossen muss, ist mir dabei vollkommen klar. Beruht doch die Hauptschwierigkeit in der Anwendung des Boucherie'schen Imprägnirungsverfahrens durch Filtration schon auf der Nothwendigkeit, in grösster Nähe der Fällungsstellen der Bäume die nothwendigen Apparate aufzustellen. Die Aufstellung der zur Abtödtung der Holzstämme

---

1) Auch Drude (Studien über die Conservirung des Holzes, Civilingenieur, herausgegeben von E. Hartig, 1889, Sp. 41) bemerkt bereits, „dass im Trockenkasten bei 100° das Kiefernholz durch Schmelzen des Harzes in seiner Imbibitionsfähigkeit erheblich geändert wird, es lässt sich erstaunlich schwierig dämpfen und erreicht oft nur die Hälfte seiner normalen Sättigungscapacität“.

nöthigen Oefen würde wohl aber kaum leichter als die sofortige Vornahme der Imprägnirung sein. Die Abtödtung müsste, um Erfolg zu haben, ja auch ebenso rasch, wie sonst die Imprägnirung vorgenommen werden. Der Vortheil, der aus der Anwendung des Abtödtens erwachsen würde, bestände eben darin, dass man später nur die nothwendigen, bereits bearbeiteten Holztheile zu imprägniren hätte. — Würden Versuche im Grossen über Abtödtung gemacht, so dürfte es sich auch bei diesen erst zeigen, welche Art der Abtödtung die vortheilhafteste sei, und ob nicht für verschiedene Hölzer die Anwendung verschiedener Abtödtungsarten sich empfehlen sollte.

Die Imprägnirungs-Versuche, die ich selbst mit Hilfe von Filtration vornahm und auf die ich mich schon wiederholt bezogen habe, wurden mit Kiefer, Fichte, Lärche, Edeltanne, Eiche, Rothbuche, Ahorn, Rosskastanie und Robinia ausgeführt. Um eine dichte Verbindung des zu imprägnirenden Holzkörpers mit dem die Salzlösung enthaltenden Gefässe auf möglichst einfache Weise zu erreichen, benutzte ich vornehmlich glockenförmige Gummihüte, die besonders zu diesem Zwecke hergestellt wurden. Diese Gummihüte liefen in einen trichterförmigen Fortsatz aus. Die meisten dieser Gummihüte vermochten einen inneren Druck von mehr als einer Atmosphäre auszuhalten. Der Gummihut wurde über das zu imprägnirende, von Rinde entblösste Holzstück gestülpt, mit Drahtschlingen um dasselbe befestigt und dann sein trichterförmiges Ende durch Vermittlung einer Glasröhre mit einem sehr dicken, entsprechend langen Gummischlauch verbunden. Auf der Glasröhre brachte ich ebenfalls die nöthigen Drahtschlingen an. Der mit $2^1/_2$ bis 5% Kupfersulfat ausgefüllte Gummischlauch tauchte 8 bis 10 m höher in ein Gefäss, das die gleiche Lösung enthielt, und sog dieselbe heberartig nach. Die Operation wurde unterbrochen, wenn am unteren Ende des Holzstücks die Lösung mit annähernd derselben Farbe, wie sie im oberen Gefäss gegeben war, ausfloss. Der Erfolg der Imprägnirung wurde dann makroskopisch wie mikroskopisch controlirt und mit Hilfe von gelbem Blutlaugensalz noch sichtbarer gemacht.

Das heut ganz vorwiegend angewandte Verfahren der Imprägnirung in Deutschland und England, vornehmlich von Eisenbahnschwellen, ist dasjenige durch Injection. Als Injectionsflüssigkeiten werden fast ausschliesslich nur noch Zinkchlorid,

Zinkchlorid mit Zusatz von carbolsäurehaltigem Theeröl und carbolsäurehaltiges Theeröl allein benutzt.

Injicirt wird in allen Fällen bereits bearbeitetes, todtes Holz. Mit carbolsäurehaltigem Theeröl allein kann nur ganz trockenes Holz imprägnirt werden. Zu frisches Holz gilt auch für die Zinkchlorid-Imprägnirung als weniger günstig.

Für die Imprägnirung mit Zinkchlorid, so auch Zinkchlorid-Theeröl, wurden die Hölzer früher ganz allgemein durch Dämpfen vorbereitet. Gegen das Vortheilhafte eines solchen Dämpfens kamen dann aber Bedenken auf. Namentlich in England ist dasselbe so gut wie aufgegeben worden [1]). Auch Drude [2]) kam, bei speciell auf diese Frage gerichteten Untersuchungen, zu dem Ergebniss, dass das Dämpfen vor der Imprägnirung nicht anzurathen sei.

Das Verfahren, wie es in den grossen deutschen Imprägnirungs-Anstalten bei Anwendung des Dämpfens geübt wird, gebe ich hier nach einer Mittheilung wieder, die ich der Gefälligkeit der Firma Jul. Rütgers in Berlin verdanke.

Die Imprägnirung mit Zinkchlorid, beziehungsweise mit Zinkchlorid nach Zusatz von carbolsäurehaltigem Theeröl zerfällt danach in drei Operationen: zunächst das Dämpfen, dann die Herstellung der Luftverdünnung, endlich das Einlassen der Lösung und die Anwendung der Druckpumpe.

Die Hölzer werden in eiserne Wagen geladen und in den Imprägnirungscylinder geschoben, worauf man diesen luftdicht verschliesst. Hierauf setzt man die Hölzer der Einwirkung von Wasserdämpfen aus, um dadurch, wie es heisst, das Holz für die möglichst grosse Aufnahme von Imprägnirungsflüssigkeit vorzubereiten. Je nach der Jahreszeit und dem Zustande der Schwellen muss das Dämpfen längere oder kürzere Zeit dauern. Bezweckt wird, laut Angaben, durch das Dämpfen eine möglichste Erweichung der trockenen Oberfläche der Querschnitte und die Entfernung des ausgetretenen Pflanzenschleims, der oft in Verbindung mit Sand und Staub eine für Flüssigkeiten undurchdringliche Masse bildet. Zur Erreichung dieses Zweckes sei es erforderlich, dass der in dem Dampfkessel auf 3 bis 4

---

1) Vergl. Heinzerling, l. c. p. 104.

2) Studien über die Conservirungsmethoden des Holzes, in: „Der Civilingenieur“, herausgegeben von E. Hartig, Jahrg. 1889, Sp. 29 ff.

Atmosphären Spannung gebrachte Dampf, während der Dauer von 30 Minuten, derartig in den Imprägnirungscylinder einströme, dass nach Ablauf dieser Zeit die Spannung in dem Kessel 1,5 Atmosphären anzeige. Dieser Spannungszustand wird weitere 30 Minuten unverändert erhalten. Kommt „frisches Holz“ zur Imprägnirung, so muss die Dauer des Dämpfens entsprechend verlängert werden. Es dauert dann länger als 30 Minuten, bis die Spannung des Dampfes im Imprägnirungscylinder $1^1/_2$ Atmosphären Druck erreicht hat, und muss diese Spannung mindestens 1 Stunde erhalten bleiben. Zu Beginn der Dampfeinströmung wird, behufs Austreibung der im Cylinder befindlichen Luft, ein an dem unteren Ende des Cylinders befindlicher Verschluss geöffnet, bis Dampf ausströmt. Dieser Verschluss wird während des Dämpfens nach Maassgabe der sich condensirenden Wasserdämpfe zum Ablassen des Wassers geöffnet. — Nach dem Ablassen des Dampfes stellt man eine Luftverdünnung von mindestens 55 cm Quecksilberstand in dem Imprägnirungscylinder her. Diese Luftverdünnung wird, je nachdem die Hölzer trocken oder frisch waren, 30 bis 60 Minuten unterhalten. — Nach Ablauf dieser Zeit lässt man, während die Luftverdünnung beständig unterhalten wird, mindestens bis auf 50° C erwärmte Chlorzinklösung durch den äusseren Luftdruck in den Imprägnirungscylinder einströmen, bis dass letzterer gefüllt ist. — Alsdann wird die Druckpumpe in Thätigkeit gesetzt bis zur Erzeugung eines Ueberdruckes von $6^2/_3$ Atmosphären. Dieser starke Druck wird mindestens 60 Minuten unterhalten, eventuell auch länger, wenn dieser längere Zeit erforderlich ist, um das gegebene Material vorschriftsgemäss zu imprägniren. Nach vollendeter Operation wird die Chlorzinklösung wieder abgelassen. Die zur Imprägnirung verwandte Chlorzinklösung muss bei 14° R eine Stärke von 3° Beaumé aufweisen. Da diese Lösung durch das im Holzkörper vorhandene Wasser verdünnt wird, so gilt es, so lange concentrirtere Lösung in den Imprägnirungscylinder einzulassen, bis dass die am Sicherheitsventil abfliessende Lösung die Stärke von 3° Beaumé eine halbe Stunde lang constant zeigt. Es muss eine vorschriftsgemäss imprägnirte kieferne Bahnschwelle der grösseren Sorte von durchschnittlich 0,104 cbm Inhalt mindestens 30 kg, eine solche der kleineren Sorte von 0,090 cbm bis 0,083 cbm Inhalt mindestens 26 kg und eine eichene Bahnschwelle mindestens 10 kg

Imprägnirungsflüssigkeit aufgenommen haben. Für Hölzer, welche nach dem Cubikinhalt berechnet werden, ist bestimmt, dass der Cubikmeter Kiefernholz 200 kg, ein Cubikmeter Eichenholz 85 kg aufnehmen muss. Die Controle wird durch Wägung vor und nach der Imprägnirung geführt. Das nach dieser Ermittlung etwa fehlende Quantum Chlorzink wird mit 25 Pf. pro 10 kg in Abzug gebracht. Fehlt mehr als $^1/_6$ des Gewichts an der vorgeschriebenen Aufnahme, so muss die Imprägnirung wiederholt werden. — Die Imprägnirung mit Chlorzink unter Zusatz von carbolsäurehaltigem Theeröl wird ganz in der nämlichen Weise ausgeführt. Der Chlorzinklösung setzt man während des Erwärmens derselben für jede Schwelle 2 kg schweres Steinkohlentheeröl hinzu, welches 20 bis 25 % Carbolsäure enthält. Die Mischung mit der Chlorzinklösung wird durch entsprechende Vorrichtungen unter Zuströmen von Dampf ausgeführt.

Die Imprägnirung mit carbolsäurehaltigem Theeröl allein musste von jeher, um zu gelingen, ohne vorausgehende Dämpfung vorgenommen werden. Nach dem üblichen Verfahren verlangt dieselbe ebenfalls drei Operationen. Zunächst werden die Schwellen getrocknet und erwärmt bis zu 130° C in Trockenöfen; dann gelangen sie in den Imprägnirungscylinder, in welchem ein luftverdünnter Raum herzustellen ist, dann erfolgt das Einlassen des Theeröls in den Imprägnirungscylinder und Hineindrücken desselben in die Schwellen. In den Trockenöfen steigert man die Temperatur allmählich bis auf 130° C und setzt die Einwirkung derselben mindestens 4 Stunden, und jedenfalls so lange fort, bis dass keine Wasserdämpfe mehr entweichen und die Hölzer gleichmässig erwärmt sich zeigen. Die so vorbereiteten Schwellen werden sofort, im erhitzten Zustande, auf dem nämlichen Wagen, auf dem sie sich bereits befinden, in den eisernen Imprägnirungscylinder gefahren, welchen man luftdicht verschliesst. Hierauf stellt man in dem Imprägnirungscylinder eine Luftverdünnung von mindestens 55 cm Quecksilberstand her. Diese Luftverdünnung muss in längstens 30 Minuten erreicht sein und weitere 30 Minuten anhalten. Nach Ablauf dieser Zeit wird, unter anhaltender Mitwirkung der Luftpumpe, der Cylinder mit dem creosothaltigen Theeröl gefüllt, welches man vorher bis auf 40—60° C erwärmte. Endlich erzeugt man vermittelst der Druckpumpe einen Ueberdruck von mindestens $6^2/_3$ Atmosphären, den man 60 Minuten, eventuell nach

Bedürfniss länger unterhält. Die Aufnahme soll für jede kieferne Bahnschwelle der grösseren Sorte mindestens 18 kg, für jede solche Schwelle der kleineren Sorte mindestens 15,5 kg betragen. Pro Cubikmeter Kiefernholz wird 180 kg, pro Cubikmeter Eichenholz 85 kg verlangt. Die Controle erfolgt durch Wägung nach dem Verlassen des Trockenofens und nach vollzogener Imprägnirung. Das fehlende Quantum Theeröl wird mit 10 Mk. pro 100 kg in Abzug gebracht. Fehlt mehr als $^1/_6$ der vorschriftsmässigen Aufnahme an Theeröl, so muss das Imprägnirungsverfahren wiederholt werden.

Eine ganz ähnliche Mittheilung, wie die zuvor gegebene auf Zinkchlorid lautende, verdanke ich auch der Gefälligkeit der kgl. Eisenbahn-Direction in Frankfurt a. M. Sie ist der Anlage zu einem Vortrage entnommen und betrifft die Imprägnirung von Buchenschwellen mit Chlorzinklösung. Aus dieser Mittheilung sei hier nur hinzugefügt, dass für den Cubikmeter Buchenholz eine Aufnahme von 300 kg Chlorzinklösung von 3° Beaumé bestimmt war. Eine lufttrockene buchene Bahnschwelle der grösseren Sorte von im Mittel 0,104 cbm Inhalt hat mindestens 30 kg, eine solche kleinerer Sorte von 0,090 bis 0,083 cbm Inhalt mindestens 27 kg Imprägnirungsflüssigkeit aufzunehmen. Auch wurde hinzugefügt, dass, wenn die Aufnahme von 30 kg Chlorzinklösung von 3° Beaumé pro Schwelle, respective von 300 kg pro Cubikmeter Buchenholz sich nicht ermöglichen lassen sollte, wenn das Holz zu frisch zur Imprägnirung ist, so solle die Chlorzinklösung derartig verstärkt werden, dass die Aufnahme an wasserfreiem Chlorzink demjenigen Quantum entspricht, welches in 300 kg Chlorzinklösung von 3° Beaumé enthalten ist. So müsste, wenn pro Cubikmeter nur 200 kg aufgenommen werden konnten, die Lauge $4^1/_2$° Beaumé stark sein.

Durch geneigte Vermittlung des Herrn Ministers v. Gossler und auf gütige Veranlassung des Herrn Ministers v. Maybach wurden mir auch von der kgl. Eisenbahndirection in Frankfurt a. M. zwei halbe buchene, mit Chlorzink imprägnirte Schwellen zur Untersuchung zugeschickt.

In gefälligster Weise erbot sich auch die Firma Jul. Rütgers in Berlin, mich mit Untersuchungsmaterial zu versehen. Ich verdanke dieser Firma eine ganze Anzahl mit Chlorzink, unter Zusatz von carbolsäurehaltigem Theeröl und mit carbol-

säurehaltigem Theeröl allein imprägnirter Schwellen. Die aus Frankfurt a. M. erhaltenen Schwellen waren vor dem Imprägniren gedämpft worden, so auch die mit Zinkchlorid unter Zusatz von carbolsäurehaltigem Theeröl imprägnirten Schwellen, die ich von der Firma Jul. Rütgers erhielt. Ausserdem sandte mir aber die Firma Jul. Rütgers auch mit carbolsäurehaltigem Theeröl allein imprägnirte Schwellen, welche somit trocken und zwar nach dem zuvor geschilderten Verfahren imprägnirt worden waren, und endlich auch noch eine mit carbolsäurehaltigem Theeröl allein imprägnirte Schwelle, bei welcher ein anderes Verfahren in Anwendung kam. Dieses letzte Verfahren unterscheidet sich von dem früheren, wie mir von der Firma Jul. Rütgers in gefälligster Weise mitgetheilt wird, dadurch, dass das Holz in dem Imprägnirungscylinder selbst einen neuen Trocknungsprocess durchmacht, bei welchem es „im luftverdünnten Raume, in einem Bade der Imprägnirungsflüssigkeit, einer Temperatur ausgesetzt wird, bei welcher das Wasser, entsprechend der angewandten Luftverdünnung, siedet". „Weil die Temperatur wegen des luftverdünnten Raumes", heisst es in der Mittheilung weiter, „eine, gegenüber der gewöhnlichen Trockentemperatur, viel niedrigere sein kann, so tritt keinerlei nachtheilige Einwirkung auf die Holzfaser oder gar eine Zerstörung derselben ein." Bei der Ausführung dieses Verfahrens werden die Hölzer in grösseren Mengen in den Imprägnirungskessel auf eisernen Wagen eingefahren, der Imprägnirungskessel geschlossen und unter Anwendung der Luftpumpe so weit mit Imprägnirungsflüssigkeit gefüllt, dass die Hölzer ganz eingetaucht sind und nur ein Raum für die durch Evacuirung veranlasste Dampfentwicklung verbleibt. Die Imprägnirungsflüssigkeit im Imprägnirungskessel wird durch einen Dampf-Heizapparat (Röhrenschlange) in der gewünschten Temperatur unterhalten. Diese Temperatur hätte diejenigen Höhe zu erreichen, welche dem Siedepunkt des Wassers bei der gegebenen Luftverdünnung entspricht. So müsste bei einer Luftverdünnung von 14,86 cm Quecksilber die Flüssigkeit 60° C, bei einer Luftverdünnung von 11,74 cm Quecksilber 55° C aufweisen. „Die bei dieser Temperatur aus dem Holzsaft sich entwickelnden Dämpfe werden durch die Luftpumpe abgesogen und können in einen Condensor geführt und dort verdichtet werden." Durch einen Vorversuch wird ermittelt, wie viel Wasser das zu imprägnirende

Holz abzugeben habe, um gut imprägnirt zu werden, und man setzt dem gemäss das Auspumpen des Kessels dann so lange fort, bis sich eine entsprechende Wassermenge in dem Condensor verdichtet hat. Hierauf füllt man den Imprägnirungskessel vermittels fortgesetzter Saugung mit der Imprägnirungsflüssigkeit ganz an und geht zu dem gewohnten Druckverfahren über, das bei 6 oder mehr Atmosphären ausgeführt wird. Dann lässt man die Imprägnirungsflüssigkeit ablaufen und nimmt die Hölzer gleich aus dem Kessel oder lässt sie in demselben erst erkalten, oder endlich man entfernt die Imprägnirungsflüssigkeit nicht sofort aus dem Kessel, lässt vielmehr die Hölzer sich in dieser mit abkühlen. „Das beschriebene Verfahren eignet sich", laut Mittheilung, „für Hölzer in jedem Zustande von Trockenheit, vor allem auch für frisch gefällte Hölzer, und wird bei diesen, im Besonderen bei Buchenholz, eine vollständige Imprägnirung erzielt, ohne dass ein Reissen oder sonst eine nachtheilige Einwirkung oder gar eine Zerstörung der Holzfaser eintritt."

Nach diesem letzten Verfahren soll die Aufnahmefähigkeit des Eichenholzes pro Cubikmeter 150 bis 200 kg Theeröl betragen. Für die anderen mit Theeröl in der zuvor beschriebenen Weise imprägnirten Schwellen, die ich zur Untersuchung von der Firma Jul. Rütgers erhielt, giebt das Begleitschreiben als Aufnahme pro Cubikmeter an für Eichenholz 85 kg, für Buchenholz ca. 360 kg, Kiefernholz ca. 300 kg. Für die mit Zinkchlorid unter Zusatz von Carbolsäure nach erfolgtem Dämpfen, entsprechend früherer Beschreibung, imprägnirten Schwellen giebt das Begleitschreiben eine Aufnahme an: für Eichenholz pro Cubikmeter 155 kg, für Buchenholz 320 kg, für Kiefernholz 300 kg.

Dieses mir zur Verfügung gestellte Material habe ich in Quer- und Längsstücke zerlegen lassen und dasselbe makro- und mikroskopisch untersucht.

Auf Grund dieser Untersuchungen steht mir selbstverständlich ein Urtheil darüber nicht zu, wie sich im Mittelwerth der Erfolg der einzelnen Imprägnirungsverfahren herausstellt. Ich musste mich vielmehr damit begnügen, zu constatiren, was die einzelnen Verfahren im besten Falle zu leisten vermögen. Dass ich besonders gut imprägnirte Schwellen zur Untersuchung erhielt, wurde mir von der Firma Jul. Rütgers direct mitgetheilt.

Uebereinstimmend ergab sich aus der Untersuchung des gesammten Schwellenmaterials, dass auch bei der Imprägnirung unter starkem Druck die Imprägnirungsflüssigkeit im Wesentlichen nur die Wasserleitungsbahnen der Pflanze zu benutzen vermag. Dieser Druck überwindet der Hauptsache nach die Widerstände, die sich während des Absterbens des Holzkörpers innerhalb seiner Leitungsbahnen einstellten. Hingegen gelingt es ihm nicht, die Verschlüsse zu bewältigen, die im natürlichen Verlaufe der Entwicklung zum Schutz des Kernholzes ausgebildet werden. Im Allgemeinen erfolgt somit auch bei dem Imprägnirungsverfahren durch Injection die eigentliche Imprägnirung durch Infiltration und Imbibition von dem trachealen System der Pflanze aus. Ein Einpressen der Flüssigkeit von der Hirnfläche aus in das Kernholz findet bei der Eiche in nur ganz unbedeutendem Maasse statt. Bei den Nadelhölzern gelingt die Injection, namentlich in den äusseren Theilen des Kernholzes, oft 10 bis 20 cm hoch in die Spättracheïden hinein, von welchen wir wissen, dass ihre Tüpfel nicht geschlossen werden und welche vielfach auch weniger Verkernungsproducte enthalten. — Eine ganz vollkommene Imprägnirung lässt sich durch Druckinjection bei der Rothbuche erreichen, vorausgesetzt, dass sie kernfrei sei; vollständiger imprägnirt könnte in der That ein Holz nicht sein, als die mit Theeröl nach dem zuletzt geschilderten Verfahren imprägnirte Buchenschwelle, die ich der Firma Jul. Rütgers verdanke.

Die Imprägnirungsflüssigkeit wirkt, was übrigens zu berücksichtigen ist, nicht in derselben Weise auf alle Hölzer ein. Das Zinkchlorid und, wie mir meine Versuche zeigten, auch das Kupfersulfat verrathen eine solche Verschiedenheit der Einwirkung nicht, wohl aber das carbolsäurehaltige Theeröl. Während Rothbuchenholz und Eichenholz unter dem Einfluss dieser Substanz hart und zähe werden, ertheilt dieselbe dem Kiefernholz, mit der Härte zugleich, eine grosse Sprödigkeit. Schneidet man quer durch das mit karbolsäurehaltigem Theeröl imprägnirte Eichenholz aus dem nicht imprägnirten Kern in den imprägnirten Splint hinein, so merkt man sofort an dem weit grösseren Widerstand, den sie dem Schneiden entgegensetzt, die Stelle, an welcher der Splint und damit zugleich die Imprägnirung beginnt. Dasselbe fällt auch bei der entsprechend imprägnirten Kiefer auf, doch lässt sich ihr imprägnirter Splint

kaum mehr der Quere nach schneiden, da er gleichzeitig blättert. Es trennen sich an den einzelnen Jahresgrenzen die einzelnen Holzringe von einander und spalten sich auch in radialer Richtung. Für Kiefernholz dürften somit Theerölimprägnirungen manche Nachtheile bringen. Da Kernholz auch durch Druckinjection nur sehr unvollkommen zu imprägniren ist, so müsste bei Eisenbahnschwellen aus Kernhölzern thunlich vermieden werden, den Kern an die Peripherie zu bringen. Von den beiden mit Theeröl imprägnirten Eichenschwellen, die ich von der Firma Rütgers erhielt, führte die eine den Kern annähernd in der Mitte, die andere nahe der Peripherie. Die erstere war nicht allein dadurch besser geschützt, dass sie im ganzen Umfange annähernd gleichmässig tief imprägnirt war, sondern auch dadurch, dass ihr imprägnirter Theil, ungeachtet er aus Splint bestand, wesentlich härter als der nicht imprägnirte Kern geworden. Eichen werden somit das beste Schwellenmaterial so lange abgeben, als sie nicht eine bestimmte Dicke überschreiten und ihrer ganzen Dicke nach verwandt werden können. Bei der Kiefer liegt die Sache insofern etwas anders, als die Imprägnirung auch von den Seitenflächen des Kernholzes aus sich bis zu einer gewissen Tiefe vollzieht. Besonders ist dies der Fall, wenn die Stammmitte nahe der betreffenden Seitenfläche liegt und die Jahresringe somit mehr oder weniger radial durchschnitten an dieser Seitenfläche münden. Dann kann nämlich die Flüssigkeit die an den radialen Wänden der Tracheïden angebrachten Hoftüpfel zum Eindringen benutzen, und diese Hoftüpfel vermögen ihr auch im Kernholze nicht vollständig zu widerstehen. Weniger günstig werden die Verhältnisse dort, wo die Jahresringe tangential die Oberfläche streifen; doch auch dann vermögen die Wände der Tracheïden eine Infiltration nicht ganz abzuwehren, welche demgemäss auch bis zu einer bestimmten Tiefe erfolgt.

Trotzdem die Eiche ausser den weiten Gefässen über engere Gefässstränge verfügt, die in Gestalt schräg orientirter Bänder die weiten Gefässe verbinden, sind es vornehmlich die weiten Gefässe nur, welche als Bahnen für die Imprägnirungsflüssigkeit dienen. Doch markirt sich dieses verschiedene Verhalten erst in älteren Theilen des Splintes. Auf Längsschnitten sind die einzelnen injicirten Gefässe leicht zu verfolgen und auch auf Querschnitten bilden sie, bei Theeröl-Injection, in unvollständiger

injicirten Gürteln an der inneren Grenze des Splintes, die Mittelpunkte brauner Flecken, die seitlich getrennt bleiben. Diese Stellen sind besonders instructiv, weil sie die Wege deutlich anzeigen, welchen der Imprägnirungsstoff folgt. Die einzelnen braunen Flecke, in deren Mittelpunkt die Gefässöffnungen liegen, erscheinen an ihren Rändern verwischt und zeigen auch hierdurch an, dass sich die Flüssigkeit aus dem Gefäss durch dessen Wände hindurch seitlich verbreitete.

Dass auch bei der Rothbuche die Imprägnirung nicht quer durch die Wände hindurch, von den Seitenflächen her, sondern dass sie von den trachealen Bahnen aus erfolgt, lässt sich an passenden Stellen der mit Theeröl imprägnirten Schwellen sicherstellen. Die etwaigen Verschlüsse, welche sich in den Wasserbahnen dieses Holzes während seines langsamen Absterbens ausgebildet haben, vermögen hier somit nicht eine volle Imprägnirung derselben bei Anwendung des Druckinjections-Verfahrens zu verhindern. — Wie weit der sogenannte rothe Kern der Rothbuche sich imprägniren lässt, darüber steht mir ein Urtheil nicht zu, doch wird auch dessen Imprägnirungsfähigkeit, wenn auch mit etwas geringerer Aufnahme des Imprägnirungsstoffes, von mancher Seite entschieden behauptet [1]). Dass die Angaben über diesen Punkt auseinander gehen, mag durch den Umstand veranlasst worden sein, dass der s. g. rothe Kern der Buche jedenfalls in sehr verschiedener Ausbildung bei den Versuchen zur Verwendung kam. Nur so weit, als die Gefässbahnen innerhalb des rothen Kerns der Buche mit Schutzgummi erfüllt sich zeigen, sind sie unwegsam. Die Zahl solcher verstopfter Gefässe im rothen Kern der Buche kann aber eine sehr verschieden grosse sein, und daraus folgt auch eine mehr oder weniger vollständige Imprägnirung.

Dass auch bei der Kiefer die Injectionsflüssigkeit den natürlichen Leitungsbahnen folgt, zeigt die isolirte Injection der Spättracheïden im Kernholz, in Zonen, die durch Tracheïden getrennt sind, welche von der Injectionsflüssigkeit völlig frei blieben. Dass es sich nicht etwa nur um eine stärkere Aufspeicherung der Flüssigkeit durch die Membranen der Spättracheïden handelt,

---

1) Vergl. z. B. die Angaben über die Imprägnirung der Buchenholzschwellen in der Allg. Forst- und Jagdzeitung, 1889, p. 124, Ohnacker, Die Buchenschwellfrage.

beweist ihr aus der Injectionsflüssigkeit bestehender Inhalt, sowie die Art und Weise, wie die Injectionsflüssigkeit jeder einzelnen Zone mit steigender Entfernung von der Hirnfläche, unabhängig von derjenigen der benachbarten Zonen, erlischt.

Die Bahnen der Flüssigkeit bei Zinkchlorid-Injectionen zu verfolgen, war im Einzelnen nicht möglich und ich musste mich damit begnügen, die Vertheilung des Zinkchlorids durch das Holz ganz allgemein nachzuweisen. Da das Zink keine farbigen Verbindungen besitzt, welche zu dessen directem Nachweis in dem imprägnirten Holze zu verwerthen wären, so bietet sein Nachweis in der erwünschten Form einige Schwierigkeiten. Drude bediente sich des Millon'schen Reagens (Quecksilbernitratnitrit), welches mit dem Chlor des Zinkchlorids einen weissen, unter dem Mikroskop in graulich krümlichen Körnern auftretenden Niederschlag bildet. Drude richtete sich nun nach der Stärke dieses Niederschlags, um Rückschlüsse auf die Quantität der im Holze enthalten gewesenen Zinkchloridmengen zu gewinnen [1]). Ein Bild von der Vertheilung des Zinkchlorids in den einzelnen Theilen des Gewebes ist aber schwer auf diese Weise zu gewinnen. Ich schlug ein anderes Verfahren ein, das auf der Einwirkung von Ferricyankalium auf Zinksalze und auf der Umsetzung der gebildeten Ferricyanzinkverbindung mit schwefelsaurem Eisenoxydul zu Turnbull's Blau beruht. Werden Schnitte aus dem mit Zinkchlorid imprägnirten Holzkörper in eine verdünnte, frisch zubereitete Lösung von Ferricyankalium ca. 5 Minuten lang gelegt, hierauf in einer grösseren Menge destillirten Wassers gut ausgewaschen und dann 10 Minuten lang in eine verdünnte Lösung von Eisenvitriol gelegt, so färben sie sich intensiv blau. Derselbe Versuch, mit nicht imprägnirtem Holze ausgeführt, giebt nur schwache Graufärbung. — Mit Hilfe dieses Verfahrens gewann ich die Ueberzeugung, dass die Wege und die Vertheilung des Zinkchlorids in dem Holzkörper auch keine anderen als diejenigen des Theeröls sein könnten, über ein bestätigendes Ergebniss hinaus liess aber auch diese Art des Nachweises weitere Schlussfolgerungen nicht zu.

Von verschiedenen Seiten her wurde bereits geltend gemacht, dass das Dämpfen der Hölzer auch bei Zinkchlorid-

---

1) Studien über die Conservirungsmethoden des Holzes in „Der Civilingenieur", herausgegeben von E. Hartig, 1889, Sp. 29.

Injection keine Vortheile, vielmehr Nachtheile bringe und die Injectionsfähigkeit des Holzes nur herabsetze. Veranlasst wurde die Einführung des Dämpfens durch die Absicht, die Oberfläche der Hölzer möglichst zu erweichen und den Schleim zu entfernen, der in Verbindung mit fremden Körpern der Imprägnirungsflüssigkeit den Eintritt erschwert. In der That kann eine Reinigung der Oberfläche der Hölzer, und zwar vornehmlich an den Querschnitten, nur von Vortheil sein, das Dämpfen, welches diese Reinigung besorgt, ist aber zugleich mit anderen, weit grösseren Nachtheilen verbunden. Denn ein solches Dämpfen erschwert sehr bedeutend das Auspumpen der Luft aus dem Holze, wie solches vor der Imprägnirung vorgenommen wird. Laut unseren früher mitgetheilten Erfahrungen muss ein Imbibiren der Schliesshäute der Tüpfel, sowie die Ausfüllung der Hoftüpfelräume mit Wasser, wie solches nothwendiger Weise durch das Dämpfen in den peripherischen Theilen des Holzes veranlasst wird, zur Folge haben, dass das Auspumpen der Luft hierauf aus dem Holze fast illusorisch wird. Nicht allein bei einer Luftverdünnung, wie sie in den Imprägnirungskesseln hergestellt zu werden pflegt und die 55 bis 60 cm Quecksilbersaugung entspricht, sondern auch bei der Saugung einer vollen Atmosphäre und selbst stundenlang fortgesetztem Saugen, liesse sich nur relativ wenig Luft aus dem Holze entfernen. Günstiger würde sich unter sonst gleichen Verhältnissen das Ergebniss für Laubhölzer gestalten, die nur wenige, mit Hoftüpfeln völlig abgeschlossene Scheidewände, wenigstens im Innern ihrer Gefässe besitzen; allein auch dort dürfte das durch das Dämpfen eingeführte Wasser Verstopfungen an den engeren Stellen der Gefässe herstellen, von denen wir von früher wissen, dass deren nur wenige ausreichen, um eine Quecksilbersäule von Barometerlänge aufgehängt zu erhalten. Die nach vorgenommener Operation des Auspumpens in das Holz eingepresste Injectionsflüssigkeit muss somit in demselben ausser dem durch das Dämpfen eingeführten Wasser auch einen grossen Theil der zuvor vorhandenen Luft noch antreffen.

Aus dem trockenen Holz ist die Luft hingegen relativ leicht auszupumpen, dieselbe geht sogar, wie wir früher gesehen haben, ohne bedeutendere Widerstände durch die zahlreichen Tori der geschlossenen Hoftüpfel des Coniferenholzes.

Daher muss es theoretisch einzig berechtigt erscheinen, das Dämpfen aus der Operation wegzulassen.

Umgekehrt wird das Holz sich um so leichter imprägniren lassen, je trockner es ist. Es liegt nahe, zu empfehlen, dass das Trocknen in den Imprägnirungscylindern selbst erfolge, so wie es auch für die eine der mit Theeröl injicirten Eichenschwellen geschah, die ich der Imprägnirungs-Anstalt von Jul. Rütgers verdanke. Ob das Holz frisch oder trocken in den Imprägnirungscylinder kommt, ist aber auch für dieses Verfahren nicht völlig gleichgiltig, es verlangt jedenfalls vor dem Imprägniren eine verschiedene Vorbereitung. Die nachtheiligen Wirkungen hoher Temperaturen lassen sich durch das Trocknen in luftverdünntem Raume vermeiden. Bei den im Imprägnirungscylinder herzustellenden Luftverdünnungen würde das Wasser sich schon bei 55 bis 65 ^{0} C verdampfen lassen, was einer Quecksilbersaugung von ca. 64 bis 57 cm entspricht. Das bei raschem Trocknen leicht erfolgende Reissen des Holzes liesse sich durch gleichzeitiges Eintauchen in die Imprägnirungsflüssigkeit, so wie in dem letzt angeführten Jul. Rütgers'schen Verfahren, mehr oder weniger verhindern. Ein solcher Gesichtspunkt war auch für die Firma Jul. Rütgers bei Anwendung dieses Verfahrens maassgebend. Es müsste aber dieses Verfahren noch entsprechend modificirt werden, denn thatsächlich dürfen die Hölzer nicht, während das in ihnen vorhandene Wasser verdampft, ganz von der Imprägnirungsflüssigkeit umgeben sein. Dieser Punkt kommt wesentlich in Betracht, da ja ein solches Untertauchen eine Verstopfung der peripherischen Enden der Wasserbahnen des Holzkörpers mit Flüssigkeit zur Folge haben und das für eine vollkommene Imprägnirung nothwendige Auspumpen der Luft aus dem Holze mehr oder weniger ausschliessen muss. Ein solches vollständiges Eintauchen in eine Flüssigkeit hat ähnliche Folgen wie das Dämpfen. Es würde sich daher empfehlen, auch bei denjenigen Hölzern, die man mit Imprägnirungsflüssigkeit umgiebt, um sie hierauf erst von ihrem Wasser und ihrer Luft zu befreien, die eine Hirnfläche frei zu halten. Das liesse sich nur dadurch erreichen, dass man den Hölzern innerhalb des Imprägnirungscylinders eine aufrechte Stellung gäbe. Das obere Ende des Holzes, vor allem dessen obere Hirnfläche, hätte somit bis zu entsprechender Höhe aus der Imprägnirungsflüssigkeit hervorzuragen. So könnten

die Mündungen der Bahnen für den Austritt der Luft frei gehalten werden, während andrerseits die fast die ganzen Hölzer umgebende Imprägnirungsflüssigkeit die mit raschem Austrocknen verbundene Entstehung von Trockenrissen mehr oder weniger verhindern würde. Bei relativ trocknen Hölzern, bei welchen die Gefahr des Reissens beim Trocknen geringer, und so auch bei solchen Hölzern, bei welchen ein Reissen weniger in Betracht kommt, hätte aber folgerecht das Auspumpen der Luft und das Trocknen im leeren Imprägnirungscylinder und hierauf erst die Zuführung der Imprägnirungsflüssigkeit zu erfolgen. Bei relativ trocknen Hölzern würde es sich sicher auch empfehlen, das Auspumpen der Luft längere Zeit in dem leeren Imprägnirungscylinder erst bei gewöhnlicher Temperatur auszuführen und dann erst die Temperatur bis zu der Höhe zu steigern, bei welcher das in dem Holz vorhandene Wasser verdampft. Da trockne Schliesshäute die Luft viel leichter durchlassen wie feuchte, so leuchtet es ein, dass das Auspumpen solcher Hölzer viel vollkommener vor sich gehen muss, so lange als die Schliesshäute noch nicht durch Dampfbildung imbibirt worden sind. Hat man mit dem Auspumpen aber gleich bei höherer Temperatur begonnen, so dass es mit gleichzeitigem Verdampfen des Wassers verbunden war, so müsste es von Vortheil sein, es so lange fortzusetzen, bis dass das Holz trocken und die Schliesshäute somit wieder durchlässiger für Luft geworden. Bei nassen Hölzern, die man nicht in der Imprägnirungsflüssigkeit, sondern im leeren Imprägnirungscylinder auspumpen und trocknen will, hätte ein vorausgehendes Auspumpen bei gewöhnlicher Temperatur weniger Bedeutung, könnte aber immerhin noch Vortheile bieten. Solche Vortheile wären sogar auch denkbar für die in der Imprägnirungsflüssigkeit von Anfang an bis an die oberen Stirnflächen tauchenden Hölzer, denn auch an diesen wäre es eventuell leichter, die Luft vor beginnendem Verdampfen des Wassers aus dem Holzkörper als zugleich mit diesem zu evacuiren. Eventuell könnte aber auch in diesen Fällen das gleich bei höherer Temperatur eingeleitete Auspumpen noch fortgesetzt werden, nachdem das Wasser verdampft und die Wasserbahnen denjenigen Grad der Trockenheit erreicht haben, der den Austritt der Luft leichter gestattet. Auch für diejenigen Hölzer, die im leeren Imprägnirungscylinder ausgepumpt und getrocknet werden, müsste es einige Vortheile gewähren, die-

selben in aufrechter Lage zu behandeln, damit die eindringende Imprägnirungsflüssigkeit zuerst mit der unteren Hirnfläche in Berührung komme. Das Einströmen der Imprägnirungsflüssigkeit in den Imprägnirungscylinder erfolgt ja unter dem Druck der äusseren Atmosphäre und muss somit auch eine Injection der ausgepumpten Hölzer zur Folge haben. Die in den Wasserbahnen dieser Hölzer eindringende Imprägnirungsflüssigkeit vermag aber, wenn sie von einer Seite her vordringt, eventuell noch manche Lufttheile zu verdrängen, welche dem Auspumpen widerstanden. Durch die trocknen Schliesshäute hindurch ist Luft durch die unter Druck eindringende Flüssigkeit unschwer zu pressen. — Das Auspumpen der Luft aus dem Imprägnirungscylinder hätte in allen Fällen bis zu dessen vollständiger Anfüllung mit der Imprägnirungsflüssigkeit fortzudauern, worauf erst die Saugung dem üblichen Druck von 6 und mehr Atmosphären weichen müsste.

Der Wunsch, die Hirnflächen der Holzstücke vor der Imprägnirung rein zu bekommen, ist nur zu berechtigt und insofern hatte auch das Dämpfen eine rationelle Veranlassung. Dieses Reinigen der Hirnflächen liesse sich aber auf anderem Wege ausführen, am besten wohl durch Erneuerung der Hirnflächen mit einem möglichst scharfen Instrument vor Einführung des Holzes in den Imprägnirungscylinder. Es würde vollkommen genügen, eine auch nur wenige Millimeter starke Schicht von den Stirnflächen zu entfernen.

Soweit ich daher mit dem Bau des Holzes und dessen Functionen einerseits, mit dem jetzt üblichen Imprägnirungsverfahren und der Art und Weise, wie die Imprägnirung vor sich geht, andererseits, bekannt wurde, möchte ich als ein Imprägnirungsverfahren, welches die meisten Aussichten auf Erfolg hat, das folgende empfehlen: Auffrischen der beiden Stirnflächen des Holzes durch Entfernen einer, wenn auch nur wenige Millimeter dicken Holzschicht mit scharfem Schnitt. Einführung der Hölzer in den Imprägnirnngscylinder in aufrechter Lage, wobei dafür zu sorgen wäre, dass auch die untere Stirnfläche möglichst frei zugänglich bleibe. Auspumpen und Trocknen der Hölzer in luftverdünntem Raume mit entsprechender Modification des Verfahrens, je nach der Natur und dem Zustand der Hölzer. Zu erwägen hierbei wäre, dass es Vortheile gewähren kann, die Hölzer zunächst bei gewöhnlicher Temperatur auszupumpen und

hierauf erst die Temperatur zu steigern bis zu derjenigen Höhe, bei welcher die Verdampfung des Wassers der betreffenden Luftverdünnung gemäss erfolgt. Da es unter Umständen, um das Reissen des Holzes zu verhindern, sich auch empfehlen kann, dasselbe in der Imprägnirungsflüssigkeit tauchend auszupumpen und auszutrocknen, so hätte man alsdann darauf zu achten, dass die obere Stirnfläche des Holzes während dieser Operation frei bleibe. — Beim Austrocknen der Nadelhölzer müsste eine besonders starke Luftverdünnung angewandt werden, weil die Luft aus denselben, der zahlreichen Schliesshäute wegen, am schwierigsten entweicht. Auch müsste man bei Coniferen ganz besonders die Anwendung hoher Temperaturen beim Austrocknen vermeiden, damit das Harz nicht gelöst werde und in die Umgebung nicht diffundire. Je stärker die Luftverdünnung war, um so niedriger ist der Temperaturgrad, bei dem das Wasser verdampft und ein rasches Austrocknen erzielt wird, so dass durch eine starke Luftverdünnung die beiden erwünschten Vortheile hier zugleich zu erreichen wären. — Nach erfolgtem Auspumpen und Austrocknen des Holzes hätte die Füllung des Imprägnirungscylinders mit der Imprägnirungsflüssigkeit durch den äusseren Luftdruck zu erfolgen. Das Auspumpen des Imprägnirungscylinders müsste bis zu dessen vollständiger Anfüllung mit der Imprägnirungsflüssigkeit fortgesetzt werden. Schliesslich käme der übliche Druck von ca. 7 Atmosphären in Anwendung, um die Injection zu vollenden.

Wie mir scheint, sind alle diese theoretischen Vorschläge nicht derart, dass sie die bereits üblichen Verfahren der Druckinjectionen vertheuern oder wesentlich erschweren sollten.

Auf andere Fragen rein technischer Art hier einzugehen, liegt nicht in meiner Competenz, so namentlich auch nicht die Frage, wie weit es sich lohnt, die Conservirung durch Imprägnirung über ein gewisses Zeitmaass hinaus zu steigern, da ja vielleicht zuvor schon rein mechanische Einflüsse, Druck und Erschütterungen, das Material zerstören. Nicht umhin konnte ich aber, auf den Umstand hinzuweisen, dass die Imprägnirung mit Theerölen, so weit wenigstens, als das mir vorliegende Material es zeigt, das Coniferenholz im Gegensatz zu Eichen- und Buchenholz spröder macht. Trifft das allgemein zu, so wäre für Coniferenholz vor allem nur die Imprägnirung mit Zinkchlorid, da dieses jetzt aus guten Gründen anderen Metallsalzen

vorgezogen wird, zu empfehlen. Die mit Zinkchlorid imprägnirten Eichen- und Buchenschwellen waren andererseits entschieden weniger zäh und hart als die mit Theerölen imprägnirten. Gegen die Anwendung der Theeröle hat man den unangenehmen Geruch geltend gemacht, den sie verbreiten. Inwieweit auch dieser Gesichtspunkt in Betracht kommt, vermag ich nicht zu ermessen.

Ob die möglichst vollkommen injicirten Schwellen in Folge der grossen Menge von Injectionsmaterial, die sie aufnehmen, nicht zu kostspielig werden und ob diese Steigerung der Kosten durch erhöhte Widerstandsfähigkeit aufgewogen oder gar überboten wird, muss ich auch dahingestellt lassen.

Von allen Hölzern, deren Verwerthung im Grossen in Betracht kommt, imprägnirt sich am leichtesten, vollständigsten und gleichmässigsten die Rothbuche. Es erscheint aber gerade für Deutschland, welches noch über reiche Buchenbestände verfügt, von Werth, für diesen Baum die richtige Verwendung zu finden. Bei Rothbuchen mit schlecht zu imprägnirendem, sog. rothem Kern müsste bei Herstellung von Eisenbahnschwellen, soweit möglich, vermieden werden, dass dieser in eine peripherische Lage käme. Nur in seltenen Fällen dürfte übrigens der „rothe Kern“ gar nicht zu imprägniren sein und bedeutendere Nachtheile bringen. Eine andere Frage ist es, in wie weit durch die verschiedenen hier in Vorschlag gebrachten Verfahren sich dem Reissen wird entgegenwirken lassen, welchem Buchenholz besonders ausgesetzt ist. Auch wäre darauf zu achten, dass das Buchenholz, welches sich selbst überlassen leicht leidet, in geeignetem Zustande zur Imprägnirung gelange. Dass gutes Buchenholz sich vorzüglich imprägniren lässt und ein ausserordentlich zähes und haltbares Material liefert, kann ich auf Grund eigener Versuche und der mir zugesandten Proben bestimmt behaupten.

Erklärung der Tafeln.

Tafel I.

Fig. 1—13. Pinus silvestris.

Alcohol-Material.

Fig. 1. Radialer Längsschnitt durch den Schaft, an der Grenze von Holz und Bast, aus einem zur Winterzeit in Alcohol eingelegten Schafttheil. Mit Anilinblau gefärbt. Vergr. 240.

Fig. 2. Ein ebensolcher Längsschnitt bei gleicher Behandlung und Vergrösserung.

Fig. 3. Ein Markstrahl aus einem tangentialen, innerhalb der activen Siebröhrenzone geführten Längsschnitt. Vergr. 240.

Fig. 4. Eine ebensolche Ansicht eines Markstrahls, der nur von eiweisshaltigen Zellen gebildet wird. Vergr. 240.

Fig. 5. Eine ebensolche Ansicht eines nur aus einer eiweisshaltigen Markstrahlzellreihe gebildeten Markstrahls. Die einseitigen Siebtüpfel sind sichtbar. Anilinblau-Färbung. Vergr. 240.

Fig. 6. Der obere Rand eines Markstrahls aus einem tangentialen, innerhalb der activen Siebröhrenzone geführten Längsschnitt, an der eiweisshaltigen Markstrahlzelle die einseitigen Siebtüpfel zeigend. Anilinblau-Färbung. Vergr. 500.

Fig. 7. Entsprechendes Bild mit stärkerer Anschwellung der Enden der Callusstäbchen. Vergr. 500.

Fig. 8 u. 9. Entsprechende Bilder aus der Zone der ausser Thätigkeit tretenden Siebröhren. In Fig. 8 die Callusplatten in Bildung, in Fig. 9 ausgebildet. Vergr. 500.

Fig. 10. Entsprechendes Bild eines ganzen Markstrahls aus der Zone der entleerten Siebröhren. Die eiweisshaltigen Markstrahlzellen vollständig entleert; die Siebplatten in Rückgang. Vergr. 240.

Fig. 11 u. 12. Entsprechende Bilder aus den älteren Basttheilen, mit entleerten und collabirten zuvor eiweisshaltigen Markstrahlzellen. Die Callusplatten aufgelöst, die stärkeführenden Markstrahlzellen stark angeschwollen. Vergr. 240.

Fig. 13. Theil des Centralcylinders aus einer Nadel, mit einem Gefässbündel, bis zur Endodermis *e*. Links am Gefässbündel der Saum aus tracheïdalen Elementen und eiweisshaltigen Uebergangszellen. Vergr. 240.

Fig. 14—16. Picea excelsa.

Alcohol-Material.

Fig. 14. Partie aus einem Holzkörper, einen gedehnten Markstrahl zeigend, der sich im Bast in eiweisshaltige Markstrahlzellen fortsetzt. Vergr. 240.

Fig. 15. Partie aus einem tangentialen Längsschnitt innerhalb der activen Siebröhrenzone, nach Anilinblau-Färbung, die Siebtüpfel zwischen den Siebröhren und die einseitigen Siebtüpfel an den eiweisshaltigen Markstrahlzellen zeigend. Die Siebtüpfel links bereits mit Callusplatten bedeckt. Vergr. 240.

Fig. 16. Ein Markstrahl aus einem tangentialen Längsschnitt ausserhalb der activen Siebröhrenzone. Die eiweisshaltigen Markstrahlzellen entleert, die einseitigen Siebtüpfel an denselben noch deutlich. Anilinblau-Färbung. Vergr. 240.

Fig. 17. Abies pectinata.

Alcohol-Material.

Fig. 17. Partie aus einem radialen Längsschnitt durch den Holzkörper, die dem Markstrahl an der Grenze von Herbst- und Frühlingsholz aufgesetzten leeren Markstrahlzellen zeigend. Vergr. 240.

Fig. 18—21. Larix europaea.

Alcohol-Material.

Fig. 18. Theil eines Markstrahls aus einem tangentialen Längsschnitt innerhalb der activen Siebröhrenzone. Die eiweisshaltigen Markstrahlzellen mit Callusplatten besetzt. Anilinblau-Färbung. Vergr. 540.

Fig. 19. Ein einseitiger, nur aus eiweisshaltigen Zellen gebildeter Markstrahl, einem tangentialen Längsschnitt aus der activen Siebröhrenzone entnommen. Siebtüpfel sichtbar. Anilinblau-Färbung. Vergr. 240.

Fig. 20. Theil eines Markstrahls in gleicher Ansicht, nur die stärkeführenden Zellen zeigend. Rechts ein Tüpfel zwischen der stärkeführenden Markstrahlzelle und einer stärkeführenden Bastparenchymzelle. Vergr. 540.

Fig. 21. Radialer Längsschnitt, an der Grenze zwischen Holz und Bast, aus einem alten, in Rückgang begriffenen Stamm, von welchem Theile während des Winters in Alcohol eingelegt wurden. Schroffer Uebergang von den weiten Frühlingstracheïden zu den engen, mit dünnen Schraubenbändern versehenen Sommertracheïden. Ein eiweisshaltiger Markstrahl, der mit einem zugeschärften tracheïdalen Element blind im Holzkörper ausläuft. Vergr. 240.

Fig. 22 u. 23. Taxodium distichum.

Alcohol-Material.

Fig. 22. Radialer Längsschnitt aus dem Schaft eines alten Stammes, an der Grenze von Holz und Bast, einen eiweisshaltigen Markstrahl zeigend, der blind am Holzkörper endet. Vergr. 240.

Tafel II.

Fig. 23. Radialer Längsschnitt von Taxodium distichum, aus derselben Gegend wie in Fig. 22, einen eiweisshaltigen Markstrahl zeigend, der in gedehnten, zum Theil von einander getrennten und entleerten Elementen innerhalb des Holzkörpers ausläuft. Vergr. 240.

Fig. 24—29. Ginkgo biloba.

Alcohol-Material.

Fig. 24. Radialer Längsschnitt aus einem alten Stamme, der activen Siebröhrenzone entnommen, Siebröhren, eiweisshaltige und stärkeführende Bastparenchymzellen zeigend. Vergr. 240.

Fig. 25. Ein ebensolcher radialer Längsschnitt aus einem jüngeren Stamm, die eiweisshaltigen Bastparenchymzellen rechts schon entleert zeigend. Vergr. 240.

Fig. 26. Ein ebensolcher radialer Längsschnitt, der Zone ausser Thätigkeit gesetzter Siebröhren entnommen. Die stärkeführenden Bastparenchymzellen angeschwollen; die eiweisshaltigen entleert mit der charakteristischen Faltung ihrer Querwände. Vergr. 240.

Fig. 27. Angrenzende entleerte eiweisshaltige Bastparenchymzellen, links collabirt, rechts nicht collabirt. Vergr. 240.

Fig. 28. Ein Markstrahl aus der Zone der ausser Thätigkeit gesetzten Siebröhren, mit angeschwollenen Elementen. Die longitudinal dem Markstrahl folgenden Intercellularen sehr auffallend. Vergr. 240.

Fig. 29. Eine stärkeführende Bastparenchymzelle innerhalb einer Reihe collabirter eiweisshaltiger, aus einem radialen Längsschnitt. Vergr. 240.

Fig. 30—32. Araucaria brasiliensis.

Alcohol-Material. Anilinblau-Färbung.

Fig. 30. Partie aus einem tangentialen Längsschnitt, einem älteren Aste entnommen, innerhalb der activen Siebröhrenzone. Die Siebtüpfel zwischen den Siebröhren und die einseitigen Siebtüpfel zwischen Siebröhren und eiweisshaltigen Zellen sehr deutlich. Vergr. 240.

Fig. 31. Ebensolches Bild innerhalb der Zone der ausser Thätigkeit gesetzten Siebröhren. Die eiweisshaltigen Zellen entleert. Vergr. 240.

Fig. 32. Eine eiweisshaltige Zelle stärker vergrössert, die einseitigen Siebtüpfel zeigend. Vergr. 540.

Fig. 33—38. Dammara australis.

Alcohol-Material. Anilinblau-Färbung.

Fig. 33. Ein Siebtüpfel zwischen zwei Siebröhren aus einem radialen Längsschnitt. Die Siebröhren in voller Thätigkeit. Vergr. 540.

Fig. 34. Ein ebensolcher Siebtüpfel aus einer zwei Siebröhren trennenden Terminalwand. Die Callusstäbchen an ihren Enden stärker angeschwollen. Vergr. 540.

Fig. 35. Einseitiger Siebtüpfel zwischen einer noch in Thätigkeit befindlichen Siebröhre und der angrenzenden eiweisshaltigen Bastparenchymzelle. Tangentialer Längsschnitt. Vergr. 540.

Fig. 36. Ein ebensolcher Siebtüpfel zwischen Siebröhre und eiweisshaltiger Bastparenchymzelle. Vergr. 500.

Fig. 37. Eine Siebröhre und die angrenzenden noch in Thätigkeit befindlichen eiweisshaltigen Bastparenchymzellen bei schwächerer Vergrösserung. Tangentialer Längsschnitt. Vergr. 240.

Fig. 38. Siebröhre, entleerte eiweisshaltige Bastparenchymzellen und ein Markstrahl in tangentialem Längsschnitt. Die einseitigen Siebtüpfel mit Callusplatten bedeckt. Vergr. 240.

Fig. 39. Picea excelsa.

Alcohol-Material.

Fig. 39. Die Blattspur im Holzkörper eines mehrjährigen Sprosses. Tangentialer Längsschnitt durch letzteren. Vergr. 240.

Fig. 40. Pinus silvestris.

Alcohol-Material.

Fig. 40. Gefässbündelcylinder des Kurztriebes im Holzkörper des mehrjährigen Tragsprosses. Tangentialer Längsschnitt durch letzteren. Vergr. 90.

Fig. 41. Cycas circinalis.

Alcohol-Material.

Fig. 41. Partie aus einem radialen Längsschnitt durch den Siebtheil des innersten Gefässbündelringes, eine entleerte Siebröhre und entleerte eiweisshaltige Bastparenchymzellen, stärkeführendes Bastparenchym und eine Sklerenchymfaser zeigend. Vergr. 240.

Tafel III.

Fig. 1. Albizzia moluccana.

Fig. 1. Ein Gefäss aus dem Holzkörper mit den dasselbe umgebenden Holzparenchymzellen und an der Mark- und Cambiumseite auch einigen anschliessenden Holzfasern. Rechts und links je ein Markstrahl. Vergr. 240.

Fig. 2 u. 3. Aeschynomene sensitiva.

Fig. 2. Querschnitt aus dem Holzkörper, dem submersen Stammtheil entnommen. Ein Gefäss mit dem dasselbe begleitenden Holzparenchym und den stark verdickten Holzfasern. Vergr. 240.

Fig. 3. Partie aus einem tangentialen Längsschnitt, um die Gestalt der gestauchten Holzfasern zu zeigen. Zwischen diesen Holzfasern ein einschichtiger Markstrahl. Vergr. 240.

Fig. 4—11. Robinia Pseudacacia.

Fig. 4. Fertiges Siebröhrenglied sammt Geleitzellen, im Innern der Siebröhre der auf einem Faden suspendirte Schleimkörper. Vergr. 240.

Fig. 5, 6 u. 7. Junge Siebröhrenglieder, die Entwicklungsgeschichte des Schleimkörpers an dem protoplasmatischen Wandbelege zeigend. Vergr. 240.

Fig. 9, 10 u. 11. Schleimkörper stärker vergrössert, 540 Mal.

Fig. 12 u. 13. Salix viminalis.

Fig. 12. Theil aus einem Querschnitt aus dem Holzkörper. Die an das mittlere Gefäss grenzenden Markstrahlzellen grossporig und stärkefrei und so auch die an dasselbe Gefäss nach unten grenzende Holzparenchymzelle. An das obere Gefäss, das nur zum Theil dargestellt wurde, grenzt an der nämlichen Stelle eine stärkeführende porenfreie Holzparenchymzelle. Vergr. 240.

Fig. 13. Theil eines radialen Längsschnitts aus dem Holzkörper. Ein Gefäss, einige Holzfasern und eine Holzparenchymzellreihe mit einem anschliessenden, sehr niedrigen Markstrahl, der die Differenzirung in niedrige längere und höhere kürzere Zellen und unter letzteren die an das Gefäss grenzenden, mit weiten Poren versehen zeigt. Vergr. 240.

Fig. 14. Tilia europaea.

Fig. 14. Partie eines Blattquerschnitts, den Querschnitt einer letzten Gefässbündelauszweigung in sich fassend. *a* die erweiterten Geleitzellen, daneben die engen Siebröhren; *s* Schraubentracheïden; *sc* Sklerenchymfasern. Das Gefässbündel wird von der, aus lückenlos verbundenen Zellen gebildeten Endodermis umgeben. Vergr. 540.

Fig. 15. Hedera Helix.

Fig. 15. Partie eines Querschnittes durch den Holzkörper. *m* Gefäss, *t* Tracheïden, *f* Holzfasern, r^1 ein breiterer, r^2 ein schmälerer Markstrahl. Vergr. 240.

Fig. 16. Fagus silvatica.

Fig. 16. Partie eines Querschnittes durch den Holzkörper. *m* Gefäss, *ft* Fasertracheïden, *hp* Holzparenchym, *r* Markstrahlen. Vergr. 240.

Tafel IV.

Fig. 17—30. Cucurbita Pepo.

Alcohol-Material. 540 Mal vergr.

Fig. 17. Querschnitt durch ein noch ziemlich kräftiges Blattbündel, nach unten läuft dieser Schnitt in ein Haar aus.

Fig. 18—24 und 26—30. Querschnitte von Gefässbündelendigungen, welche eine fortschreitende Reduction des Gefässbündels in verschiedenen, im Text näher angegebenen Modificationen vorführen. Wo angegeben: *s* Siebröhre, *vp* Vasalparenchym.

Fig. 25. Längsschnitt eines Gefässbündels kurz vor dessen Abschluss.

Fig. 31—38. Ranunculus repens.

Alcohol-Material. 540 Mal vergr.

Fig. 31—35. Feine Bündelauszweigungen des Blattes in fortschreitender Reduction.

Tafel V.

Fig. 36—38. Feine Bündelauszweigungen des Blattes von Ranunculus repens in letzter Reduction, in Fig. 38 nur noch aus Tracheïden bestehend.

Fig. 39—42. Chamaedorea elatior.

Fig. 39. Partie aus einem Gefässbündel, einen Theil der Wand eines grossen Gefässes mit den anschliessenden, durch einseitig behöfte Tüpfel mit dem Gefäss verbundenen Vasalparenchymzellen *p* und einer an das Gefäss grenzenden, von demselben abgeschlossenen Siebröhre *c* zeigend. Ausserdem einige Siebröhren mit Geleitzellen und einige Elemente der Gefässbündelscheide. Vergr. 540.

Fig. 40. Partie nach der Stammoberfläche, schwach vergrössert, die Reduction der Gefässbündel nach der Oberfläche zu und die Vergrösserung der Gefässbündelscheide zeigend. In der Rinde kleine Gefässbündel und Sklerenchymfaserstränge. Vergr. 22.

Fig. 41 u. 42. Zwei sehr reducirte Gefässbündel der Blattlamina im Querschnitt. Die Tracheïden in denselben dunkler gehalten. Vergr. 540.

Fig. 43 u. 44. Cocos flexuosa.

Fig. 43. Ein reducirtes Gefässbündel der Blattspreite. Vergr. 540.

Fig. 44. Ein queres, nur aus dem von Sklerenchymfasern umscheideten Gefässtheil bestehendes Gefässbündel der Blattspreite. *e* Epidermisansatz; *h* Hypoderma; *s* Kieselkörper. Vergr. 540.

Fig. 45. Dracaena reflexa.

Fig. 45. Theil eines Querschnittes durch eine Luftwurzel nach begonnenem Dickenwachsthum. Vergr. 22.

Fig. 46. Pandanus utilis.

Fig. 46. Skizze eines Querschnittes durch das Blatt. *si* Scheidenelemente; *vs* Gefässtracheïden; *v* weites Gefäss; *c* Siebröhren; *d* Durchlassstelle; *si* gestreckt parenchymatische Scheidenelemente; *sc* Sklerenchymfasern.

Fig. 47 u. 48. Monstera deliciosa.

Fig. 47. Partie eines Querschnittes durch einen noch ganz jungen Wurzeltheil, in welchem die ersten Vasalprimanen erst fertig gestellt sind. Die Endodermis, *e*, ist schon ausgebildet. Vergr. 240.

Fig. 48. Partie eines Querschnittes durch einen ausgewachsenen Wurzeltheil. *e* Endodermis. Vergr. 240.

Fig. 49. Orchis maculata.

Fig. 49a. Ein Gefässbündel des Stengels. Vergr. 240.

Fig. 49b. Die linke Partie dieses Bündels stärker vergrössert, um den an ein Gefässbündel grenzenden Intercellularraum zu zeigen. Die Gefässe mit Stern bezeichnet. Vergr. 540.

Verzeichniss der Abbildungen im Text.

Frommannsche Buchdruckerei (Hermann Pohle) in Jena. — 804

